

**U
N
S
A
A
C

C
U
S
C
O**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA
DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN
DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL,
ANDAHUAYLILLAS – CUSCO, 2017”**

TESIS DE INVESTIGACIÓN

Presentado por:

Bach. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
Bach. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

JURADO:

Presidente: Ing° JULIO ROJAS BRAVO

Integrantes: M. Sc. Ing° CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL
Dr. Ing° FELIPE MARIN LOAYZA

**CUSCO – PERÚ
2019**

DEDICATORIA

Siempre se preocuparon incondicionalmente en mi bienestar y educación, mi crecimiento profesional y desarrollo como ser humano. Mi formación se la debo a ustedes. Espero cumplir las promesas que les hice y ayudarles a cumplir sus sueños así como ustedes ayudaron a cumplir los míos. A ustedes mamá y papá.

Conocerle trajo muchos colores a mi vida. Eres mi compañera ideal en este viaje tan largo y desconocido. Eres la única persona que sabe cuánto me costó cumplir con esta meta y te estaré eternamente agradecido. A ti mi amada Gladys.

Tu existencia trajo grandes y nuevos desafíos a mi vida que hacen que me reinvente a diario. Sé que aún no sabes leer pero quiero que cuando aprendas y empieces a nutrirte de conocimiento, sepas que fuiste el motor y la razón que impulsó este y todos mis propósitos. Esta tesis te la dedico a ti mi pequeño CArCoP.

Cosme Amilcar Condori Chumbisuca

Dedico esta tesis a mi padre Wilfredo Gonzales Flores (QPD) que siempre me acompaña en todo momento y a mi madre Virginia Vengoa Herencia que siempre me apoya incondicionalmente en la parte moral y económica que me permitió poder llegar hasta esta etapa.

A mis padrinos Luis Castillo y esposa Hilda Gonzales por estar siempre presente cuando los necesito.

A mis hermanos, demás familiares y amigos en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de la etapa de universitaria.

Wilfredo Juan Gonzales Vengoa

AGRADECIMIENTO

Manifestamos un emotivo agradecimiento a todas las personas y entidades que de alguna manera se aunaron al propósito de sacar adelante esta investigación. Sin su ayuda no hubiera sido posible concretar nuestra meta:

- A la Universidad Nacional de San Antonio de Cusco por forjar nuestra formación profesional, ética y moral.
- A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarnos todas las facilidades para adquirir los conocimientos necesarios en nuestra etapa de formación y permitimos desarrollar los ensayos de la presente tesis.
- A los miembros de nuestro jurado: Ing° Julio Rojas Bravo, M. Sc. Ing° Carlos Fernández Baca Vidal, Dr. Ing° Felipe Marin Loayza, quienes se dieron tiempo para aclarar nuestras dudas, absolver nuestras consultas y guiar el desarrollo de esta investigación.
- Al M. Sc. Ing° Carlos Fernández Baca Vidal por su asesoramiento y apoyo incondicional, sus explicaciones prácticas y claras, su paciencia, su optimismo y sus ideas innovadoras en la implementación de equipos.
- Al Ing. Mijail Montesinos Escobar por su asesoramiento constante en el desarrollo de los ensayos.
- Al Ing. Roosevelt Euclides Mamani Quispe por el interés mostrado por nuestro tema de investigación y por aclarar nuestras dudas.
- Al Bach. en Ingeniería Electrónica Franco Marvin Rosa Alagon por su curiosidad, experiencia y conocimiento en la construcción de equipos electrónicos.
- Al Padre Gonzalo, párroco del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas por las facilidades brindadas para realizar ensayos en el templo y por su predisposición a apoyar la investigación en nuestra región.
- A nuestros amigos y compañeros de estudio. En especial a Edison Quispe Lima por su buena voluntad de apoyarnos en los ensayos.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

- Al Ing. Rommel Ramiro Tagle Solórzano, por mostrarme e instruirme en el ejercicio de esta maravillosa carrera profesional, por su amistad y apoyo para culminar esta investigación.
- A mis padres Calixto y Vicentina y a mis hermanos Nilda, Vilma y David por motivarme moralmente y haber estado presente en mi etapa de estudiante y en las dificultades que esta investigación trajo consigo.
- A la Bach. en Arqueología Gladys Parari Huayhua por su apoyo en el desarrollo de la investigación, sus sugerencias, su soporte y empatía conmigo.

Cosme Amilcar Condori Chumbisuca

- Al Ing. Marco Antonio Zúñiga Gil, por su apoyo incondicional guiándome en el inicio de mi etapa laboral y su constante motivación para que pueda concluir el presente proyecto.
- A mis compañeros y amigos que siempre me apoyaron y compartieron sus conocimiento y experiencias.

Wilfredo Juan Gonzales Vengoa

RESUMEN

La ciudad de Cusco se encuentra en una zona de considerable sismicidad siendo vulnerable ante eventos naturales. En Cusco, existe gran cantidad de construcciones históricas, monumentos patrimoniales y edificaciones cuyo material principal de construcción es el adobe y ocupa el cuarto lugar a nivel nacional con mayor presencia de viviendas construidas a base de adobe. Por estas razones es importante el estudio de estas construcciones para mitigar su vulnerabilidad y asegurar su conservación.

El Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas es una construcción patrimonial de mampostería de adobe y sobrecimientos de piedra y barro. Debido a su antigüedad es necesario realizar una evaluación estructural para garantizar su preservación. Una evaluación requiere conocer las propiedades mecánicas del material de los componentes estructurales del templo. Esto se determina mediante ensayos destructivos que podrían dañar la integridad de su estructura.

La presente investigación tiene como objetivo general evaluar una propiedad mecánica importante de la mampostería de adobe como es el módulo de elasticidad estático mediante ensayos no destructivos de propagación de onda que no afecten la estructura interna del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron varios capítulos. En el Capítulo I se desarrolló las generalidades de la investigación definiendo los objetivos generales y específicos. En el Capítulo II se describe la metodología utilizada así como el procedimiento de desarrollo. El Capítulo III considera los antecedentes de investigaciones alineadas directa o indirectamente el tema de la presente investigación. El Capítulo IV aborda los conceptos principales y teorías que sirven de base para desarrollar este estudio. La parte más extensa de la presente tesis es el Capítulo V en el cual se desarrolla la evaluación experimental, proceso de datos y cálculo de resultados. En el Capítulo VI se hizo un análisis y discusión de los resultados obtenidos para establecer una correlación de ensayos no destructivos de propagación de onda y destructivos. Por último, en el Capítulo VII se presentan las conclusiones y recomendaciones finales.

SUMMARY

The city of Cusco is located in an area of considerable seismicity, being vulnerable to natural events. In Cusco, there is a large number of historical buildings, heritage monuments and buildings whose main construction material is adobe and occupies the fourth place nationwide with the largest presence of homes built with adobe. For these reasons, it is important to study these constructions to mitigate their vulnerability and ensure their conservation.

The Temple San Pedro Apostle of Andahuaylillas is a patrimonial construction of adobe masonry and stone and mud overlays. Due to its age, it is necessary to carry out a structural evaluation to guarantee its preservation. An evaluation requires knowing the mechanical properties of the material of the structural components of the temple. This is determined by destructive tests that could damage the integrity of its structure.

The general objective of this research is to evaluate an important mechanical property of adobe masonry, such as the static elastic modulus through non-destructive wave propagation tests that do not affect the internal structure of the San Pedro Apostol Temple of Andahuaylillas.

Several chapters were considered for the development of this investigation. In Chapter I the generalities of the investigation were developed defining the general and specific objectives. Chapter II describes the methodology used as well as the development procedure. Chapter III considers the background of investigations directly or indirectly aligned with the subject of the present investigation. Chapter IV addresses the main concepts and theories that are the basis for developing this study. The most extensive part of the present thesis is Chapter V in which the experimental evaluation, data process and calculation of results are developed. In Chapter VI an analysis and discussion of the results obtained was made to establish a correlation of non-destructive tests of wave propagation and destructive. Finally, Chapter VII presents the conclusions and recommendations.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
SUMMARY	IV
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
01. GENERALIDADES	2
01.01. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
01.01.01. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
01.02. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
01.02.01. PROBLEMA GENERAL	4
01.02.02. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	4
01.03. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
01.04. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
01.04.01. OBJETIVO GENERAL	5
01.04.02. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
01.05. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
01.05.01. HIPÓTESIS GENERAL	6
01.05.02. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	6
01.06. VARIABLES DE ESTUDIO	7
01.06.01. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	7
01.06.01.01. VARIABLES INDEPENDIENTES	7
01.06.01.02. VARIABLES DEPENDIENTES	7
01.06.02. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	8
02. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	10
02.01. TIPO DE INVESTIGACIÓN	10
02.02. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	10
02.03. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	10
02.04. SELECCIÓN DE LA MUESTRA	11
02.04.01. POBLACIÓN	11
02.04.02. ELEMENTO O UNIDAD DE ANÁLISIS	11
02.04.03. MUESTRA	11
02.05. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	12

02.05.01. TÉCNICA: ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS -----	12
02.05.02. TÉCNICA: ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL -----	13
02.06. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS -----	13
02.07. PROCEDIMIENTO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN -----	14
03. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN -----	17
03.01. A NIVEL INTERNACIONAL -----	17
03.02. A NIVEL NACIONAL -----	21
04. MARCO TEÓRICO -----	25
04.01. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL -----	25
05. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL Y RESULTADOS -----	34
05.01. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL -----	34
05.01.01. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD -----	35
05.01.02. ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA -----	36
05.01.03. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA -----	39
05.02. PROCESO DE ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE -----	41
05.02.01. PREPARACIÓN DE LA TIERRA Y MEZCLADO DE BARRO -----	41
05.02.02. MOLDEADO DE LAS UNIDADES DE ADOBE -----	42
05.02.03. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA UNIDAD DE ADOBE -----	44
05.02.04. ENSAYO DE CONTENIDO EN PORCENTAJE DE PAJA -----	46
05.03. CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES DE ADOBE -----	48
05.03.01. CONSTRUCCIÓN DE PILAS DE ADOBE -----	49
05.03.01.01. ESBELTEZ DE LAS PILAS -----	51
05.03.02. CONSTRUCCIÓN DE MURETES DE ADOBE -----	52
05.04. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS -----	55
05.04.01. EQUIPO UTILIZADO PARA ENSAYOS DE PROPAGACIÓN -----	56
05.04.02. FUNCIONAMIENTO Y USO DEL SOFTWARE DEL EQUIPO -----	60
05.04.03. ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES DE ADOBE -----	63
05.04.03.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN MURETES DE ADOBE -----	63
05.04.03.02. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS Y REGISTRO DE DATOS -----	65
05.04.04. ENSAYOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN LOS MUROS DEL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS -----	68
05.04.04.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN LAS INSTALACIONES DEL TEMPLO -----	70
05.04.04.02. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS EN EL TEMPLO Y REGISTRO DE DATOS -----	71
05.04.05. PROCESAMIENTO Y CÁLCULO DE DATOS -----	76

05.04.05.01. ANÁLISIS DEL TIPO DE ONDA REGISTRADA	76
05.04.05.02. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CON MATLAB	78
05.04.05.03. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN MURETES	85
05.04.05.04. MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO EN MURETES	90
05.04.05.05. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN LOS MUROS DEL TEMPLO	92
05.04.05.06. MÓDULO DE ELASTICIDAD EN MUROS DEL TEMPLO	94
05.05. ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN PILAS Y MURETES	96
05.05.01. EQUIPO UTILIZADO PARA LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN	96
05.05.02. FUNCIONAMIENTO Y USO DEL SOFTWARE DEL EQUIPO	103
05.05.03. ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE	104
05.05.03.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	104
05.05.03.02. RESULTADOS DEL ENSAYO	105
05.05.04. ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MURETES DE ADOBE	110
05.05.04.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	110
05.05.04.02. RESULTADOS DEL ENSAYO	112
06. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	121
06.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS	121
06.01.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS POR COMPRESIÓN	121
06.01.01.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN PILAS	121
06.01.01.02. ANÁLISIS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN MURETES	122
06.01.02. ANÁLISIS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS P	127
06.02. CORRELACIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA “ v_p ” Y MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO “ E_e ”	127
06.03. COMPARACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO CORRELACIONADO “ E_e ” Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO “ E_d ”.	132
07. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
07.01. CONCLUSIONES	135
07.02. RECOMENDACIONES	136
08. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
09. ANEXOS	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 02.1. Cantidad de muretes con variación en espesor de juntas.....	12
Tabla 02.2. Cantidad de muretes y pilas con variaciones en el espesor de juntas.	13
Tabla 03.1. Resistencia a compresión simple, deformación de pico y módulos de elasticidad en pilas.....	18
Tabla 03.2. Calidad del concreto a partir de la velocidad de onda.	19
Tabla 03.3. Propiedades mecánicas a compresión de mampostería	23
Tabla 05.1. Cálculo del Contenido de Humedad Natural de Suelo.	35
Tabla 05.2. Cálculo del límite líquido del suelo.	37
Tabla 05.3. Cálculo del límite plástico del suelo.	38
Tabla 05.4. Análisis granulométrico por tamizado.	39
Tabla 05.5. Dimensiones de las unidades de adobe.	44
Tabla 05.6. Resultado de ensayo de compresión de unidades de adobe.	45
Tabla 05.7. Cálculo del contenido de paja en porcentaje de las unidades de adobe.	47
Tabla 05.8. Cálculo del contenido de paja en porcentaje del mortero de las juntas.	47
Tabla 05.9. Dimensiones y relación de esbeltez de las pilas de adobe.	52
Tabla 05.10. Dimensiones de muretes de adobe.	55
Tabla 05.11. Dimensiones de muretes construidos.	64
Tabla 05.12. Dimensiones de las 16 secciones cuadriláteras.	67
Tabla 05.13. Velocidad en dirección vertical en muretes, $e=1.00\text{cm}$	85
Tabla 05.14. Velocidad en dirección horizontal en muretes, $e=1.00\text{cm}$	86
Tabla 05.15. Velocidad en dirección vertical en muretes, $e=2.00\text{cm}$	86
Tabla 05.16. Velocidad en dirección horizontal en muretes, $e=2.00\text{cm}$	86
Tabla 05.17. Velocidad en dirección vertical en muretes, $e=3.00\text{cm}$	87
Tabla 05.18. Velocidad en dirección horizontal en muretes, $e=3.00\text{cm}$	87
Tabla 05.19. Velocidad en dirección vertical en muretes según espesor de junta.	88
Tabla 05.20. Velocidad en dirección horizontal en muretes según espesor de junta.	88
Tabla 05.21. Velocidad de propagación por murete en dirección vertical.	89
Tabla 05.22. Velocidad de propagación por murete en dirección horizontal.	89
Tabla 05.23. Valores para el Módulo de Poisson.	90
Tabla 05.24. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d para los muretes.	91
Tabla 05.25. Velocidades con variación de f_s en dirección vertical.	93
Tabla 05.26. Velocidades con variación de f_s en dirección horizontal.	93
Tabla 05.27. Velocidades de propagación en dirección vertical en el templo.	94
Tabla 05.28. Velocidades de propagación en dirección horizontal en el templo.	94
Tabla 05.29. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d para los muros del templo.	95
Tabla 05.30. Ubicación de los indicadores según la altura de la pila.	105

Tabla 05.31. Dimensiones de las pilas antes del ensayo.	105
Tabla 05.32. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=3.00cm.....	108
Tabla 05.33. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=2.00cm.....	109
Tabla 05.34. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=1.00cm.....	109
Tabla 05.35. Dimensiones y espesor de junta de los muretes de adobe.....	110
Tabla 05.36. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=1cm.	114
Tabla 05.37. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=1.00cm.....	114
Tabla 05.38. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=2.00cm,	116
Tabla 05.39. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=2.00cm.....	116
Tabla 05.40. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=3.00cm,	118
Tabla 05.41. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=3.00cm.....	118
Tabla 06.1. Resistencia a compresión simple, deformación de falla y módulos de.....	121
Tabla 06.2. Resistencia a compresión simple y deformaciones de falla a partir	123
Tabla 06.3. Resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad a partir	124
Tabla 06.4. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=1.00cm.	125
Tabla 06.5. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=2.00cm.	125
Tabla 06.6. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=3.00cm.	126
Tabla 06.7. Módulos de elasticidad representativos obtenidos de las deformaciones	126
Tabla 06.8. Resultados de V_P y E_e por murete.	127
Tabla 06.9. Ecuaciones de correlación y coeficiente de reajuste.	130
Tabla 06.10. Módulo de elasticidad estático para muretes de adobe	130
Tabla 06.11. Módulo de elasticidad estático para muros del templo obtenido por ecuación de correlación.	131
Tabla 06.12. Módulo de elasticidad estático y dinámico de muretes.	132
Tabla 06.13. Módulo de elasticidad estático y dinámico de muros del templo.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.1. Monumentos de la Ruta del Bárroco Andino.	2
Figura 02.1. Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.	11
Figura 02.2. Organigrama de procedimiento de desarrollo de la investigación.	15
Figura 03.1. Ensayos directos en adobe.	21
Figura 04.1. Elementos de una onda.	27
Figura 04.2. Configuración de ensayos ultrasónicos.	28
Figura 04.3. Tipo de configuración para ensayos sónicos.	28
Figura 04.4. Tipos de ondas en un material.	29
Figura 04.5. Módulo de elasticidad: Curva esfuerzo – deformación.	32
Figura 05.1. Gráfica de contenido de humedad.	36
Figura 05.2. Ensayo de límites de consistencia.	37
Figura 05.3. Gráfica de límite líquido.	37
Figura 05.4. Carta de plasticidad de Casagrande.	38
Figura 05.5. Ensayo de granulometría.	40
Figura 05.6. Distribución granulométrica del suelo en estudio.	40
Figura 05.7. Zarandeado de material, mezclado, pisado y adición de paja.	41
Figura 05.8. Adobera de tripley fenólico de 8.2cmx16.2cmx32.2cm.	42
Figura 05.9. Extracción de adobes sobre cama de arena fina.	43
Figura 05.10. Trabajo de elaboración de adobes concluido.	43
Figura 05.11. Volteado de adobes y perfilado de aristas de la base.	43
Figura 05.12. Apilado de unidades secas de adobe.	44
Figura 05.13. Curva esfuerzo – deformación.	45
Figura 05.14. Lavado de material para determinar el contenido de paja.	46
Figura 05.15. Gráfica de contenido de paja (%) en unidades de adobe.	47
Figura 05.16. Gráfica de contenido de paja (%) en mortero de juntas.	48
Figura 05.17. Moldes de control de espesor de juntas.	49
Figura 05.18. Colocación de molde y relleno con mortero de barro al ras.	50
Figura 05.19. Retiro de molde y asentado de adobe.	50
Figura 05.20. Medición del espesor de junta y control de verticalidad con plomada.	51
Figura 05.21. Relación de esbeltez.	51
Figura 05.22. Colocación de molde y relleno con mortero de barro.	52
Figura 05.23. Enrasado de mortero de barro.	53
Figura 05.24. Retiro de molde y humedecimiento de unidades.	53
Figura 05.25. Asentado y acomodo de unidades de adobe.	54
Figura 05.26. Control de verticalidad con plomada.	54
Figura 05.27. Control de espesor de junta y muro terminado e = 2.00 cm.	55

Figura 05.28. Partes de un sistema DAQ.....	56
Figura 05.29. Sensores sísmicos (geófonos).....	57
Figura 05.30. Esquema de un amplificador de instrumentación.....	57
Figura 05.31. Módulo amplificador de instrumentación AD620.....	58
Figura 05.32. Tarjeta de desarrollo STM32F103.....	58
Figura 05.33. Captura de pantalla del software de desarrollo.....	59
Figura 05.34. Segmento del código realizado con STM32Duino.....	59
Figura 05.35. Equipo e instrumentos para ensayo de propagación de onda.....	60
Figura 05.36. Ventana principal del software.....	60
Figura 05.37. Selección del botón de inicio del software.....	61
Figura 05.38. Gráfico de ondas registradas por los geófonos.....	61
Figura 05.39. Desplazamiento de cursores T1 y T2 para el cálculo de ΔT	62
Figura 05.40. Reducción y ampliación de gráfica.....	62
Figura 05.41. Guardado de datos registrados.....	63
Figura 05.42. Sectorización de cara de murete.....	64
Figura 05.43. Colocación de geófono en soporte.....	65
Figura 05.44. Ubicación y espaciamiento entre los geófonos antes y durante la ejecución de los ensayos.....	66
Figura 05.45. Configuración empleada para ensayos sísmicos.....	67
Figura 05.46. Medición de espaciamiento entre geófonos.....	68
Figura 05.47. Ubicación del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.....	68
Figura 05.48. Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.....	69
Figura 05.49. Detalles de la arquitectura del Templo San Pedro Apóstol.....	70
Figura 05.50. Plano del templo en planta con los 9 sectores de ensayo.....	71
Figura 05.51. Sentido del impacto de la comba en muro del templo.....	72
Figura 05.52. Ensayo en dirección vertical en el sector 01 del templo.....	73
Figura 05.53. Ensayo en dirección horizontal en el sector 02 del templo.....	73
Figura 05.54. Ensayo en dirección vertical en el sector 03 del templo.....	74
Figura 05.55. Ensayos en el sector 04 del templo.....	74
Figura 05.56. Ensayo en dirección horizontal en el sector 07 del templo.....	75
Figura 05.57. Ensayo en dirección horizontal en el sector 08 del templo.....	75
Figura 05.58. Ensayos en el sector 09 del templo.....	76
Figura 05.59. Geófono posicionado verticalmente.....	77
Figura 05.60. Geófono adherido al murete con soporte y clavo.....	77
Figura 05.61. Dirección de propagación de las ondas P y S.....	78
Figura 05.62. Registro de datos en formato CSV con fs = 40 KHz.....	79
Figura 05.63. Lenguaje de programación en MATLAB R2014a.....	79
Figura 05.64. Gráfica de la cantidad de datos versus la amplitud en MATLAB.....	80

Figura 05.65. Gráfica del tiempo (ms) versus amplitud en MATLAB.	80
Figura 05.66. Gráfica del tiempo (ms) versus amplitud sin DC en MATLAB.....	81
Figura 05.67. Gráfica de la frecuencia (Hz) versus magnitud en MATLAB.	81
Figura 05.68. Zona de reposo y zona de registro de datos.	82
Figura 05.69. Puntos de salida y llegada.	83
Figura 05.70. Punto de salida y llegada de la onda.....	84
Figura 05.71. Indicador de deformación y cable específico de conexión.....	97
Figura 05.72. Conector de salida para los indicadores de deformación.	97
Figura 05.73. Análisis de pulsos eléctricos.	98
Figura 05.74. Terminal SPC 10 para entrada de indicadores.	98
Figura 05.75. Bloque terminal de 4 pines.....	99
Figura 05.76. Principio de funcionamiento de la celda de carga.....	99
Figura 05.77. Terminal característico de una celda de carga.	100
Figura 05.78. Aspecto físico de una celda de carga y terminales de salida.....	100
Figura 05.79. HX711, circuito integrado convertidor de señal analógica a digital.	100
Figura 05.80. Tarjeta de desarrollo STM32F103.....	101
Figura 05.81. Captura de pantalla del software de desarrollo.	101
Figura 05.82. Segmento del código realizado con STM32Duino.	102
Figura 05.83. Equipo e instrumentos para ensayo de compresión axial.	102
Figura 05.84. Ventana principal del software de compresión axial.	103
Figura 05.85. Registro de datos de ensayo de compresión axial en software.	103
Figura 05.86. Instrumentación de pila con indicadores y celda de carga.....	104
Figura 05.87. Módulo de elasticidad: Curva esfuerzo – deformación.	107
Figura 05.88. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 1,2 y 3, junta=3.00cm.....	107
Figura 05.89. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 4,5 y 6, junta=2.00cm.....	108
Figura 05.90. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 7,8 y 9, junta=1.00cm.....	108
Figura 05.91. Tipo de falla registrada en pilas.....	109
Figura 05.92. Esquema de instrumentación de murete de adobe para ensayo de compresión.	111
Figura 05.93. Murete de adobe instrumentado para ensayo de compresión.	111
Figura 05.94. Tipo de fractura característica en los ensayos de compresión de muretes.	112
Figura 05.95. Curvas esfuerzo-deformación del murete 01, J=1.00cm.	113
Figura 05.96. Curvas esfuerzo-deformación del murete 02, J=1.00cm.	113
Figura 05.97. Curvas esfuerzo-deformación del murete 03, J=1.00cm.	113
Figura 05.98. Curvas esfuerzo-deformación del murete 04, J=2.00cm.	115
Figura 05.99. Curvas esfuerzo-deformación del murete 05, J=2.00cm.	115
Figura 05.100. Curvas esfuerzo-deformación del murete 06, J=2.00cm.....	115

Figura 05.101. Curvas esfuerzo-deformación del murete 07, J=3.00cm.....	117
Figura 05.102. Curvas esfuerzo-deformación del murete 08, J=3.00cm.....	117
Figura 05.103. Curvas esfuerzo-deformación del murete 09, J=3.00cm.....	117
Figura 06.1. Módulo de elasticidad obtenido en pilas de adobe por espesor de junta. ...	122
Figura 06.2. Tipo de falla registrado en ensayo de compresión en muretes.	123
Figura 06.3. Módulo de elasticidad de muretes obtenido a partir de cada indicador de deformación.	124
Figura 06.4. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V _P ” y módulo de elasticidad estático “E _e ” en muretes de espesor de junta = 1.00 cm.	128
Figura 06.5. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V _P ” y módulo de elasticidad estático “E _e ” en muretes de espesor de junta = 2.00 cm.	128
Figura 06.6. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V _P ” y módulo de elasticidad estático “E _e ” en muretes de espesor de junta = 3.00 cm.	129
Figura 06.7. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V _P ” y módulo de elasticidad estático “E _e ” general de todos los muretes.	129

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES

01. GENERALIDADES

01.01. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

01.01.01. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La ciudad de Cusco ostenta varios títulos honoríficos como son: Cusco, Capital Arqueológica de América¹; Cusco, Herencia cultural del mundo²; Cusco, Patrimonio Cultural de la Humanidad³; Cusco, Patrimonio Cultural de la Nación⁴; Cusco, Capital Histórica del Perú⁵; Cusco, Capital Histórica de Latinoamérica⁶; y Cusco, Capital Americana de la Cultura⁷. Estos títulos hacen mención a la diversidad de restos arqueológicos, edificaciones históricas y monumentos patrimoniales que dejaron como legado nuestros antepasados y antiguos pobladores de esta ciudad mundialmente conocida.



Figura 01.1. Monumentos de la Ruta del Bárroco Andino.

Superior izquierda: Templo de la Compañía de Jesús. Superior derecha: Templo San Juan Bautista de Huaró.

Inferior izquierda: Templo San Pedro Apóstol de Andahuayllillas. Inferior derecha: Capilla de la Virgen Purificada de Canincunca. Fuente: Web.

¹ Otorgado en el XXV Congreso Internacional de americanistas celebrado en La Plata, Argentina en 1933. Este título fue respaldado por el Congreso de la República del Perú mediante Ley N° 7688 del 23 de enero de 1933.

² Otorgado por la Séptima Convención de Alcaldes de las Grandes Ciudades del Mundo, reunida en Milán, Italia el 19 de abril de 1978.

³ Otorgado por la Unesco en París, Francia el 9 de diciembre de 1983.

⁴ Otorgado mediante Ley N° 23765 del 30 de diciembre de 1983. Esta misma Ley denomina en su artículo 3° a la Ciudad del Cuzco como Capital Turística del Perú.

⁵ Otorgado por el artículo 49° de la Constitución Política del Perú de 1993.

⁶ Otorgado por el Congreso Latinoamericano de Regidores y Concejales, en la ciudad del Cuzco, en el mes de noviembre de 2001.

⁷ Otorgado por la Organización Capital Americana de la Cultura en el 2007.

En la actualidad varias de estas edificaciones se encuentran en estado de deterioro por el transcurrir del tiempo y las inclemencias del clima típico de la sierra peruana. A pesar de que la mayoría de estas edificaciones ya sobrepasó los límites de su vida útil, continúan siendo habitadas y utilizadas como centros de recreación, cultura y comercio. Velar por su perpetuidad y conservación para el conocimiento de generaciones futuras es tarea y preocupación de los profesionales e investigadores actuales.

La mayoría de estas construcciones antiguas, tienen como material de construcción al adobe y a la piedra. El adobe es un bloque macizo de tierra reforzada con paja y su uso es predominante en nuestra región. Según el último censo realizado por la INEI en el 2017, 2 millones 148 mil 494 viviendas tienen como material predominante de construcción al adobe o tapia, lo que representa el 27,9% y coloca al adobe como el segundo material de construcción más empleado a nivel nacional (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2017, pág. 299). A nivel departamental, Cusco es el cuarto departamento con mayor presencia de viviendas construidas en adobe llegando a registrarse 217 794 viviendas (67.30%), mientras que solo se contabilizaron 79 207 viviendas en concreto (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2017, pág. 302).

Por otro lado la ciudad de Cusco está expuesta al peligro sísmico, las viviendas necesitan ser evaluadas con la finalidad de mitigar su vulnerabilidad. Uno de los datos importantes requeridos para conocer la respuesta de una estructura ante la acción de sismos es la rigidez, la cual está relacionada con el módulo de elasticidad del material. La determinación de este parámetro se realiza mediante ensayos de laboratorio y de campo, mediante métodos destructivos, que conllevan tiempo y dinero. Realizar estos ensayos en edificaciones construidas, provocaría una seria afectación a su estructura.

En la actualidad existen metodologías para estimar el valor del módulo de elasticidad mediante el estudio de la propagación de ondas en la mampostería de adobe como alternativa no destructiva, rápida y económica. Sin embargo esta metodología no está difundida en nuestro medio. Su difusión sería muy útil especialmente para la evaluación estructural de edificaciones históricas y de monumentos patrimoniales como son los templos coloniales y en nuestro caso, el Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

01.02. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

01.02.01. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se podría evaluar y obtener un valor estimado del módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe sin afectar la estructura de las edificaciones históricas, monumentos y viviendas patrimoniales construidas en adobe?

01.02.02. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿En qué medida varían los valores del módulo de elasticidad obtenidos por métodos no destructivos de propagación de onda y los obtenidos por ensayos destructivos de compresión uniaxial?
2. ¿Cómo se correlaciona la velocidad de propagación de las ondas P que viajan a través de la mampostería de adobe con el módulo de elasticidad dinámico del mismo?
3. ¿Qué relación guarda la variación de los espesores de las juntas del mortero con la velocidad de propagación de ondas en la mampostería de adobe?
4. ¿Qué relación guarda la variación de los espesores de las juntas del mortero con el módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe?

01.03. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la ciudad del Cusco el material más usado por su versatilidad, propiedades térmicas y por la economía es la mampostería de adobe, es así que el 67.30% de las viviendas usan este material para su construcción (INEI 2017). Dado que Cusco está expuesto a peligro sísmico inminente, es necesario que las viviendas sean evaluadas de tal modo que se puedan tomar medidas que mitiguen su vulnerabilidad. Para conocer la respuesta de una estructura de mampostería de adobe y una estructura en general ante la acción de sismos, es necesario conocer sus características dinámicas (frecuencias, modos de vibración, entre otros). Los parámetros necesarios para un análisis modal son la masa, la rigidez y el amortiguamiento; la rigidez está relacionada con el módulo de elasticidad del material. La determinación de este parámetro se puede realizar mediante ensayos de laboratorio y de campo que conllevan tiempo y dinero, lo cual es difícil de ser asumido por los propietarios ya que en general son de escasos ingresos

económicos (INEI 2017). Por ello surge la necesidad de generar métodos que permitan obtener valores aproximados de este parámetro de manera económica y rápida para que pueda ser usado como dato del material de modelos matemáticos que permitan estimar las características dinámicas y evaluar la vulnerabilidad de una estructura en particular.

La presente investigación propone desarrollar una metodología que estime el valor del módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe a partir de ensayos destructivos de compresión hechos en laboratorio y ensayos no destructivos hechos en campo de aplicación sistematizada y práctica. Para los ensayos no destructivos se estudiará la velocidad de propagación de ondas y se correlacionará con el valor del módulo de elasticidad obtenido mediante ensayos destructivos de compresión uniaxial. La correlación obtenida nos permitirá estimar el valor del módulo de elasticidad estático de manera rápida y económica. Con este parámetro será posible que investigaciones y estudios posteriores realicen un análisis modal del comportamiento estructural de las casonas y monumentos históricos de la ciudad del Cusco, así como de las numerosas capillas y templos históricos que se encuentran en las diferentes localidades de la región. Esto permitirá establecer medidas de seguridad ante sismos en su estado actual y determinar mejores formas de reforzamiento, basándose en un parámetro verdadero del material que las conforma y no en valores asumidos.

01.04. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

01.04.01. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el valor del módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe en edificaciones históricas, monumentos y viviendas patrimoniales sin afectar su estructura interna, caso del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

01.04.02. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la variación entre el módulo de elasticidad obtenido por método no destructivo de propagación de onda y el obtenido por ensayo destructivo de compresión uniaxial.
2. Encontrar una correlación entre la velocidad de propagación de las ondas P que viajan a través de la mampostería de adobe y el módulo de elasticidad estático del mismo.

3. Analizar qué relación guarda la variación de los espesores de las juntas del mortero de barro con la velocidad de propagación de ondas en la mampostería de adobe.
4. Analizar la relación que guarda la variación del espesor de las juntas del mortero con el módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe.

01.05. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

01.05.01. HIPÓTESIS GENERAL

Los ensayos sónicos son un tipo de ensayos no destructivos que podrían ser empleados para determinar el módulo de elasticidad en mampostería de adobe. Los ensayos sónicos permiten determinar la velocidad con que se propagan las ondas en un material sin dañar su estructura interna. Determinar la velocidad con que se propagan las ondas, haría posible el cálculo del módulo de elasticidad para su posterior aplicación en trabajos de evaluación estructural de edificaciones históricas y monumentos patrimoniales de adobe en forma rápida y económica.

01.05.02. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

1. Dado que el módulo de elasticidad dinámico está determinado en función de la velocidad, se asume que el módulo de elasticidad dinámico tendrá valores mayores al módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe.
2. En base a la fórmula de velocidad en función del módulo de elasticidad, módulo de Poisson y densidad para el concreto, se cree que en el caso del adobe, su velocidad de propagación se correlaciona con su módulo de elasticidad dinámico usando la misma fórmula.
3. Se especula que a mayor espesor de junta, la velocidad de propagación de onda será menor por la mayor cantidad de espacios vacíos que se generan.
4. Considerando que el mortero de las juntas presenta menor resistencia a la aplicación de esfuerzos y es más deformable, se estima que a mayor espesor de la junta el módulo de elasticidad estático será menor.

01.06. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables del tema de investigación: “Evaluación del Módulo de Elasticidad de Mampostería de Adobe por los Métodos: Destructivo y Propagación de Onda en el Templo San Pedro Apóstol, Andahuaylillas - Cusco” son:

- Variable independiente: Mampostería de adobe.
- Variable dependiente: Propiedades mecánicas de la mampostería de adobe.

01.06.01. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

01.06.01.01. VARIABLES INDEPENDIENTES

En la presente investigación se identifica a la mampostería de adobe como variable independiente de estudio.

VARIABLES INDEPENDIENTES “Vi”	
Mampostería de adobe	Muretes de adobe
	Pilas de adobe

01.06.01.02. VARIABLES DEPENDIENTES

En lo concerniente a variables dependientes se identifican las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe.

- Resistencia a la compresión uniaxial.
- Deformaciones locales de la mampostería de adobe.
- Módulo de elasticidad estático (Ee)
- Módulo de Poisson (μ).
- Velocidad de propagación de ondas en la mampostería de adobe.
- Módulo de elasticidad dinámico (Ed).

VARIABLES DEPENDIENTES “Vd”	
Propiedades mecánicas	Resistencia a compresión axial
	Deformación local
	Módulo de elasticidad estático
	Módulo de poisson
	Velocidad de ondas “p”
	Módulo de elasticidad dinámico

01.06.02. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
MAMPOSTERÍA DE ADOBE	Características físicas del material.	Contenido de humedad. Granulometría del material. Densidad del material. Límites de consistencia.
	Características geométricas y morfológicas del material.	Textura. Forma. Dimensiones.
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la compresión uniaxial.	Resistencia a la compresión uniaxial de la mampostería de adobe (pilas y muretes) a los 30 días.
	Deformación local.	Deformación local en muretes y pilas de adobe a los 30 días.
	Módulo de elasticidad estático E_e .	Módulo de elasticidad estático a los 30 días.
	Módulo de Poisson	Módulo de Poisson en mampostería de adobe.
	Velocidad de propagación de ondas "P".	Velocidad de propagación de ondas "P" a los 30 días en muretes y muros del templo.
	Módulo de elasticidad dinámico E_d .	Módulo de elasticidad dinámico a los 30 días en muretes y muros del templo.

CAPÍTULO II.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

02. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

02.01. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo cuantitativa, porque ésta se basa en la recolección de datos como son; el tiempo que demora en atravesar la onda por el material, mediante ensayos de propagación de onda en mampostería de adobe y esfuerzos y deformaciones mediante ensayos de compresión axial. Esto con la finalidad de establecer una correlación entre la velocidad de propagación de la onda (ensayo no destructivo) y el módulo de elasticidad de la mampostería de adobe (ensayo destructivo). Todo ello siguiendo un conjunto de procesos establecidos.

02.02. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación es correlacional ya que tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre la velocidad de propagación de las ondas que viajan en el material con el módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe (caso del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas).

02.03. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño aplicado en esta investigación es de tipo experimental. El diseño experimental es un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas - antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos - consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 121).

En un experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta supuesta relación causal, el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no. Aquí, manipular es sinónimo de hacer variar o asignar distintos valores a la variable independiente. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 122).

02.04. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

02.04.01. POBLACIÓN

La población de esta investigación está constituida por las construcciones, a las que será aplicable los resultados de esta investigación como son: edificaciones históricas, monumentos patrimoniales, viviendas populares y otras construcciones de la ciudad de Cusco, cuya unidad base de construcción sea el adobe y su mampostería esté conformada por adobe y mortero de barro.

02.04.02. ELEMENTO O UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis del tema de investigación es la mampostería de adobe de edificaciones históricas y monumentos patrimoniales del distrito de Andahuaylillas, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco.

02.04.03. MUESTRA

La muestra seleccionada para el presente estudio es de tipo probabilística y es el Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas – Cusco en el cual se realizarán ensayos de propagación de ondas en su mampostería cuyo material predominante de construcción es el adobe. A su vez, se tiene como muestra a muretes y pilas de adobe contruidos por los investigadores con dimensiones basadas en la Norma Técnica E.080 del Reglamento Nacional de Edificaciones.



Figura 02.1. Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

Fuente: Web.

02.05. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Una vez seleccionado el tipo de diseño a aplicar en la investigación así como la muestra adecuada, se realiza la recolección de los datos sobre las variables de la muestra definida.

Como afirma (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010) “Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” (pág. 198).

En la presente investigación se realizó la recolección de datos mediante ensayos de propagación de ondas y compresión uniaxial.

02.05.01. TÉCNICA: ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

Como ya se mencionó, el ensayo de propagación de ondas es una técnica de recolección de datos no destructiva. Los datos que se logran obtener con esta técnica son el tiempo que demora la onda en atravesar el material, distancia entre los sensores sísmicos y velocidades en función del tiempo y distancia.

ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

Los ensayos de propagación de onda serán realizados en el Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas. Se realizarán ensayos in situ de configuración indirecta en la mampostería de adobe en sentido vertical y horizontal en nueve zonas del templo. Estos ensayos no afectan ni comprometen la estructura del templo. Además, en este estudio se definió la construcción de nueve muretes de mampostería de adobe con variaciones en el espesor de las juntas tal como se indica a continuación:

Tabla 02.1. Cantidad de muretes con variación en espesor de juntas.

Fuente: Propia.

Espesor de junta “e” (cm)	Cantidad de muretes
1.00	3
2.00	3
3.00	3
Total de muretes =	9

Estos muretes tienen variaciones en sus dimensiones las que se detallarán en el ítem de construcción de pilas y muretes de adobe.

02.05.02. TÉCNICA: ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

A diferencia de los ensayos de propagación de ondas, el ensayo de compresión uniaxial es una técnica de recolección de datos destructiva. Consiste en la aplicación de carga sobre la sección transversal neta de mampostería (pilas y muretes) y controlar la deformación. Mediante esta técnica se logrará obtener los datos de esfuerzos y deformaciones en los especímenes.

ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

Para realizar estos ensayos, se programó la construcción de nueve muretes de adobe que también serán utilizados en el ensayo no destructivo de propagación de ondas. A parte de estos nueve muretes, se programó la construcción de nueve pilas de adobe con variaciones en el espesor de sus juntas tal como se detalla a continuación:

Tabla 02.2. Cantidad de muretes y pilas con variaciones en el espesor de juntas.

Fuente: Propia.

MURETES DE ADOBE		PILAS DE ADOBE	
Espesor de junta "e" (cm)	Cantidad	Espesor de junta "e" (cm)	Cantidad
1.00	3	1.00	3
2.00	3	2.00	3
3.00	3	3.00	3
Total de muretes =	9	Total de pilas =	9

02.06. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta que "Toda medición o instrumento de recolección de datos debe reunir tres requisitos esenciales: confiabilidad, validez y objetividad" (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010, pág. 200). En la presente investigación se utilizarán los siguientes instrumentos de recolección de datos.

INSTRUMENTOS PARA ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

Los ensayos de propagación de ondas se ejecutarán utilizando unos sensores sísmicos que convierten un fenómeno físico en una señal eléctrica medible. Estos

sensores son dos geófonos que actúan uno como emisor y el otro como receptor de señal. Los geófonos estarán conectados a un equipo adquirente de datos (DAQ) con interfaz a un computador el cual permite obtener los datos registrados de tiempo en ms y frecuencia en mV de manera digitalizada y guardarlos en formato CSV (similar al formato XLS ambos compatibles con Excel). Una comba de goma no instrumentada será la encargada de generar la onda en la mampostería de adobe.

INSTRUMENTOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

Estos ensayos serán realizados con una prensa hidráulica para ensayos de compresión axial del Laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNSAAC. Esta prensa consta de una gata hidráulica la cual es accionada para aplicar el esfuerzo sobre el área de contacto ya sea por carga lenta o carga rápida. Para registrar el esfuerzo aplicado se acopló a la gata de la prensa una celda de carga de 20Tn.

Las deformaciones serán registradas con indicadores de diseño sencillo (diales) de la marca Mitutoyo serie 543-690. Estos indicadores son unos instrumentos de medición y administración de datos con una resolución de 0.01 mm y un error de indicación máxima de 0.03 mm. Durante el ensayo los indicadores estarán fijados mediante brazos de sujeción a una armadura. Esto permite ubicarlos y ponerlos en contacto con los topes que son pequeños trozos de madera adheridos a los muretes en los puntos donde se quiere registrar las deformaciones.

Tanto la celda de carga como los indicadores, estarán conectados a un equipo adquirente de datos (DAQ) el cual permite obtener los datos registrados de esfuerzo, deformación y tiempo de manera digitalizada en un computador y guardarlos en formato CSV (similar al formato XLS ambos compatibles con Excel).

02.07. PROCEDIMIENTO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente organigrama se describe el procedimiento para el desarrollo de la presente investigación.

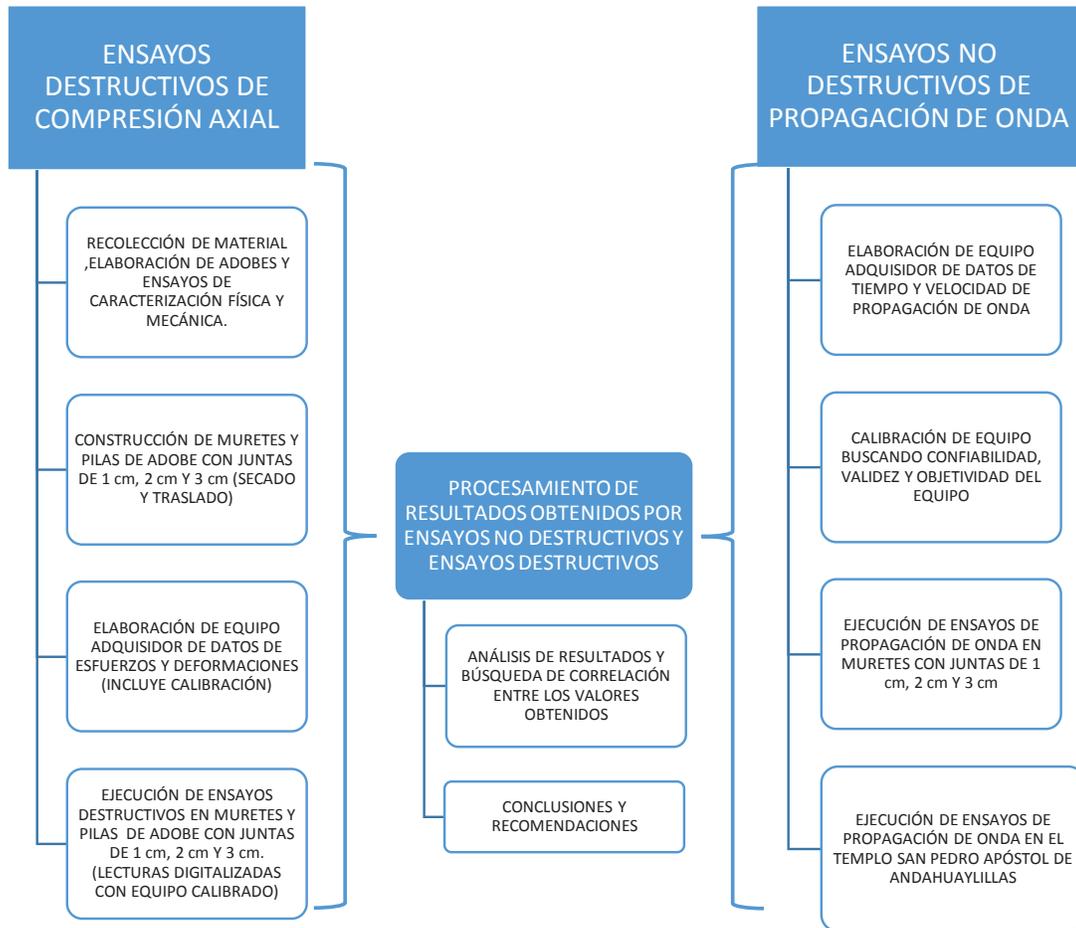


Figura 02.2. Organigrama de procedimiento de desarrollo de la investigación.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO III.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

03. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los antecedentes y consideraciones teóricas que en este capítulo se mencionan, están orientadas a la revisión de investigaciones previas que de manera directa o indirecta abordan el tema de investigación. Estas investigaciones revisadas ayudan a justificar el estudio.

03.01. A NIVEL INTERNACIONAL

ENSAYOS DE COMPRESIÓN DIAGONAL Y COMPRESIÓN SIMPLE SOBRE MAMPOSTERÍA DE ADOBE (Garrocho López, 2017)

Esta investigación tuvo como objetivo fundamental caracterizar mecánicamente el adobe como material de construcción frente a cargas de compresión diagonal y compresión simple. Conforme a los ensayos de unidades cúbicas a compresión simple, se esclareció de forma definitiva la anisotropía del material, según muestran los resultados de los ensayos y las diferencias de valores de resistencia a compresión simple en torno al 30%. El origen de esta anisotropía se encuentra en la sedimentación por densidad del material, permitiendo que los materiales más densos se acumulen en la zona inferior de los adobes. También es importante la orientación de la paja dentro del adobe: ésta se orienta en dirección perpendicular a la dirección de secado, confiriendo mejores resultados de resistencia a compresión simple para los ensayos en posición longitudinal. No obstante, los resultados obtenidos no muestran ninguna conclusión esclarecedora sobre la influencia del paso del tiempo sobre el material.

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DEL ADOBE FRENTE A CARGAS DE COMPRESIÓN SIMPLE (Gómez Bermudo, 2016)

En este trabajo de fin de grado de ingeniería civil, se han realizado diversos ensayos en aras de aportar información a la comunidad científica acerca de las propiedades del material. Para ello, se han elaborado una serie de bloques de adobe con los que se han confeccionado probetas y muros a escala (pilas y muretes), y se ha analizado experimentalmente su comportamiento ante una carga de compresión simple o uniaxial. A partir de estos ensayos, ha sido posible determinar propiedades características del material tales como: Resistencia a compresión simple, deformación de pico (deformación correspondiente a la

tensión máxima), módulo de elasticidad y ley de comportamiento. Los resultados obtenidos en esta investigación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 03.1. Resistencia a compresión simple, deformación de pico y módulos de elasticidad en pilas.

Fuente: Adaptado de (Gómez Bermudo, 2016).

UNIDAD	σ_c (MPa) Mampostería	$\epsilon_{pico}(-)$	E(MPa)
PI-L1-1	1,414	0,0068	328,35
PI-L2-1	1,401	0,0065	496,89
PI-L2-2	1,463	0,0073	586,03
PI-L2-3	1,415	0,0071	468,87
PI-L2-4	1,590	0,0068	728,14
Valor medio	1,454	0,0069	504,38
desviación típica	5,39 %	4,35 %	29,3 %

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE ULTRASONIDO EN PROBETAS DE HORMIGÓN CON DISTINTOS GRADOS DE HUMEDAD (Benítez Herreros, 2011)

El presente trabajo muestra el estudio experimental realizado sobre probetas cúbicas de hormigón para observar la evolución de la velocidad de propagación de ultrasonido a través del hormigón y el grado en que afectan distintas variables a dicha velocidad, y su posible relación con su resistencia a compresión. El autor cita una fórmula que evalúa el módulo de elasticidad dinámico para el concreto en función de la velocidad, la densidad y el módulo de Poisson. Esta fórmula coincide con la propuesta por otros autores y será detallada en capítulos posteriores.

En la investigación se examinó el material por medio de métodos destructivos y no destructivos empleando distintas dosificaciones y distintos materiales con el fin de obtener conclusiones acerca de la influencia de los mismos en la propagación de ondas acústicas. Los resultados de los ensayos determinan la importancia de la dosificación empleada, siendo más determinantes el contenido de agua durante la fabricación de la mezcla que el tipo de árido empleado, así como la importancia del medio al que están expuestas las muestras.

En esta investigación también se aborda el tema de la determinación de la calidad del concreto por medio de los valores de velocidad registrados. Esto permite tener una clasificación de la calidad del concreto la cual se muestra en la tabla adjunta.

Esto podría servir de base para futuras investigaciones en concreto a partir de la velocidad de onda.

Tabla 03.2. Calidad del concreto a partir de la velocidad de onda.

Fuente: (Benítez Herreros, 2011)

VELOCIDAD DE LA ONDA LONGITUDINAL (m/seg)	CALIDAD DEL HORMIGÓN
> 4570	Excelente
3650 - 4570	Buena
3050 - 3650	Regular a dudosa
2130 - 3050	Pobre
< 2130	Muy pobre

TYOLOGICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE ADOBE BUILDINGS OF ALIANO (BASILICATA, ITALY) (Liberatore, y otros, 2006)

En este trabajo cuyo título en español es: “Investigación Experimental y Tipológica de las Construcciones en Adobe de Aliano-Basilicata-Italia”, se presentan los ensayos de laboratorio e investigaciones in situ realizadas en construcciones históricas de adobe de Aliano en Italia. Las investigaciones de laboratorio consisten en análisis químico, análisis geotécnico, ensayo de flexión en tres puntos (three-point-bending) y ensayos de compresión en bloques de adobe. Para las investigaciones in situ, se realizó una prospección de vibraciones a ambiente, ensayos sínicos en muros, ensayos de penetración en mortero de juntas y ensayo de compresión diagonal en un pedazo de muro del lugar.

Los ensayos sínicos se llevaron a cabo en muros de adobe, en muros de adobe con acabado en sillar y muros en sillar con presencia de vacíos en el mortero. El muro de adobe tuvo un espesor de 35 cm y fue investigado en grillas de 4x3 con puntos espaciados a 33.3 cm. Todas las mediciones de velocidad estuvieron por debajo de los 1000 m/s lo que indica una pobre calidad en el material. Esto posiblemente se deba a la presencia de vacíos en el interior donde la velocidad registrada fue por debajo de los 150 m/s. Como resultado de estos ensayos sínicos en muros de adobe, se obtuvo una velocidad mínima de 130 m/s, una velocidad máxima de 640 m/s y una velocidad promedio de 348.20 m/s.

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE SUELOS COHESIVOS MEDIANTE VELOCIDAD DE ULTRASONIDO (Contreras Urrutia, 2014)

En este trabajo se ha realizado un estudio experimental de probetas cilíndricas de suelos cohesivos, de 10(cm) de alto y 5(cm) de diámetro, con humedad óptima y diferentes grados de compactación (80%, 85% y 90%) que tiene por objetivo determinar la resistencia a la compresión no confinada y el módulo de elasticidad empleando la velocidad de propagación de ultrasonido y el ensayo de compresión no confinado.

Para lograr el propósito planteado se debieron ensayar por ambos métodos dos series de 10 probetas gemelas para cada grado de compactación. Con los datos obtenidos al ensayar la primera serie de probetas se crearon tres curvas de conversión, las cuales se cargaron al equipo Pundit Lab y se procedió a ensayar de igual manera la segunda serie de probetas, obteniendo la resistencia a la compresión no confinada y módulo de elasticidad. Los resultados obtenidos por ambos métodos indican una clara similitud e igual tendencia de crecimiento que el grado compactación, donde la resistencia a la compresión no confinada aumenta de 0,10 a 0,25 (MPa) y el módulo de elasticidad 3,03 a 7,80 (MPa). Sin embargo la media y desviación estándar de los resultados de resistencia a la compresión no confinada y módulo de elasticidad son mayores empleando velocidad de ultrasonido.

Entre las conclusiones a las que se llegaron destacan que tras el análisis de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión no confinada y módulo de elasticidad, mediante velocidad de propagación de ultrasonido, empleando el equipo Pundit Lab, es posible obtener resultados confiables que se ajustan a los valores obtenidos del ensayo de compresión no confinada, los cuales poseen una diferencia que no supera el 2%.

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE DEL SUR DE MÉXICO (Arroyo Matus, Sánchez Tizapa, & Catalán Quiroz, 2013)

La mampostería de adobe en el sur de México posee una resistencia mecánica extremadamente baja: Hasta 10 veces menor que la obtenida respectivamente en

pruebas de compresión axial y cortante de mampostería de arcilla recocida. Además, los coeficientes de variación pueden alcanzar valores de hasta el 40%. Los valores de la resistencia a la falla de la mampostería de adobe son: para la resistencia a la compresión, 0.58 MPa; 0.15 MPa para la resistencia en tensión por flexión, y de 0.08 MPa para el caso de la resistencia al cortante. Para el módulo de elasticidad y el de rigidez al cortante pueden considerarse valores de 210 y 50 MPa respectivamente.

03.02. A NIVEL NACIONAL

CONSTRUCCIÓN DE TOMOGRAFÍAS USANDO METODOLOGÍAS SÓNICAS COMO HERRAMIENTAS PARA EL DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS HISTÓRICOS (Saucedo Abanto, 2016)

El autor de este trabajo, plantea la aplicación de ensayos sónicos, ultrasónicos y de impacto eco como herramientas de diagnóstico estructural. En esta investigación se aplicaron ensayos sónicos en el Templo de Andahuaylillas – Cusco, lo cual tuvo como objetivo determinar el estado interno de algunos de sus elementos estructurales. Para ello se aplicaron ensayos sónicos directos e indirectos en adobe y piedra. Luego se generaron imágenes en 2D de uno de sus contrafuertes y un muro de sus capillas.



Figura 03.1. Ensayos directos en adobe.

Fuente: (Saucedo Abanto, 2016)

El equipo que se empleó para realizar los ensayos sónicos directos constó de dos acelerómetros piezoeléctricos con una respuesta de hasta 15 KHz. En los ensayos indirectos se utilizaron acelerómetros con respuesta de hasta 2.5 KHz. Se utilizó un martillo de acero para producir los impactos en las muestras de roca

y adobe. Para los ensayos en los sub elementos estructurales se utilizó un martillo de goma de mayor peso para generar una mayor energía y no se atenúen las ondas a lo largo del recorrido. Diez señales se registraron de cada punto de ensayo utilizando el adquirente de datos NI 9234 con una frecuencia de muestreo de 51.2 KHz. Se registraron velocidades en el adobe que en algunos casos llegaron entre los 1100 a 1200 m/s y en otros casos entre los 300 a 400 m/s, según la zona de ensayo.

Los resultados obtenidos muestran que con estos ensayos se pueden determinar las propiedades dinámicas de los materiales y se puede evaluar el estado interno de sub elementos estructurales mediante la creación de imágenes en 2D como se realizó en el Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas y la Huaca de la Luna.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LAS UNIDADES DE ADOBE DEL COMPLEJO ARQUEOLÓGICO HUACA DE LA LUNA MEDIANTE ENSAYOS DE ULTRASONIDO (Aguilar, y otros, 2015)

La investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas (resistencia y módulo de elasticidad) de las unidades de adobe del complejo arqueológico Huaca de la Luna con el uso complementario de técnicas tradicionales de carácter destructivo e innovadoras de carácter no-destructivo. Se desarrollaron satisfactoriamente ensayos de compresión uniaxial controlados por desplazamiento que fueron complementados con medidas de un sistema de video correlación lo cual permitió caracterizar el comportamiento mecánico del material incluso después de alcanzar el rango no lineal. Se desarrollaron también ensayos de ultrasonido que permitieron caracterizar cuantitativamente el comportamiento dinámico y que sirvieron también para un análisis cualitativo de homogeneidad de las unidades de adobe. En esta investigación realizaron ensayos de compresión uniaxial y de estos ensayos realizados se construyeron las curvas esfuerzo-deformación a partir de los cuales se pudieron obtener parámetros mecánicos como la resistencia a compresión y módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad secante (E) se estimó haciendo uso del criterio propuesto por Silveira, Varum y Costa (2012) que establece que es igual a la pendiente de la recta trazada Secante desde el origen al tercio de la resistencia máxima a compresión. El E promedio obtenido en este estudio fue de 901 MPa con un CV del 43%. Por otro lado, los ensayos directos de ultrasonido en las caras de las unidades de

adobe permitieron generar imágenes 2D de velocidades, las velocidades más comunes registradas en los puntos ensayados en todos los adobes estuvieron en el rango de 1300 m/s a 1400 m/s. Los resultados del módulo de elasticidad dinámico obtenidos a través del ensayo de ultrasonido muestran que existe una relación de alrededor de 3,3 veces en relación a los resultados estáticos obtenidos con los ensayos de compresión uniaxial. Además, se evidencia una pequeña variabilidad de los primeros ensayos de alrededor de 10% lo cual indica la confiabilidad y repetitividad del método y abre las puertas para futuras aplicaciones incluso para verificación in-situ.

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE COMPONENTES ESTRUCTURALES EN CONSTRUCCIONES ARQUEOLÓGICAS DE TIERRA: EL CASO DE HUACA DE LA LUNA (Montesinos Escobar, 2016)

El autor de esta investigación muestra una tabla con parámetros mecánicos a compresión de la mampostería de adobe según diferentes investigadores la cual se adjunta a continuación.

Tabla 03.3. Propiedades mecánicas a compresión de mampostería de adobe según diferentes investigaciones.

Fuente: (Montesinos Escobar, 2016)

Referencia	Ubicación	σ_c (MPa) Adobe	σ_c (MPa) Mortero	σ_c (MPa) Mampostería	E (MPa) Mampostería
Contemporáneo					
Blondet y Vargas	Perú	1.44	-	0.83	100
Ottazi, et al.	Perú	2.4	3.49	1.64	181
Vargas y Ottazi	Perú	1.5	-	0.8-1.2	60-374
San Bartolomé, et al.	Perú	1.8	-	0.9	-
Yamín, et al.	Colombia	2.84	-	1.1	98
Meli, et al.	México	1	-	1	250
Ruiz y Vidal	México	2.52	3.29	0.21	-
Miccoli, et al.	Alemania	5.21	3.32	2.7-3.8	587-1071
Histórico					
Quagliarini, et al.	Italia	-	-	0.77-1.2	26-40
Varum, et al.	Portugal	0.77-1.72	1.42	0.86-1.33	-
Eslami, et al.	Irán	6	4.4	1-1.32	145-280
Almeida	Portugal	0.8-1.65	2.43-3.04	1.24-1.83	206
Varum, et al.	Portugal	0.56	-	0.33	664

CAPÍTULO IV.

MARCO TEÓRICO

04. MARCO TEÓRICO

04.01. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

ADOBE

Según la Norma E.080, el adobe es una “Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017, pág. 4).

MORTERO

Según la Norma E.080, el mortero es el “Material de unión de los adobes en una albañilería. Debe ser de barro mezclado con paja o con arena gruesa y eventualmente con otras sustancias naturales espesas para controlar las fisuras del proceso de secado (cal, mucílago de cactus, y otros comprobados)” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017, pág. 5).

ONDA

Abordando el tema de ensayos ultrasónicos y sónicos, una onda “es la propagación de una oscilación provocada por la vibración de las moléculas que constituyen un material” (García Medina, 2013, pág. 16). Al vibrar las moléculas del material, transmiten su vibración a la molécula adyacente y así sucesivamente generando la onda.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN (V)

Según (García Medina, 2013) “Es la velocidad a la que se propaga la onda, es decir, la velocidad del sonido; ésta depende de una serie de características y propiedades del material” (pág. 16). “El sonido se produce por la vibración mecánica de las partículas que componen un medio. Esta vibración provoca que la energía de la onda se transmita por el medio” (pág. 16).

PERIODO (T)

Es el tiempo necesario para que se produzca el cambio periódico de un movimiento, condición, comportamiento o ciclo de un cuerpo (Rimoldi & Mundo, 2012).

FRECUENCIA (f)

Se define a la frecuencia como la inversa del periodo, pero desde el punto de vista de un ensayo sónico, la frecuencia viene a ser el número de vibraciones o ciclos por segundo. Los materiales pueden comportarse como filtros ante el paso de una onda atenuándola o dispersándola. Este comportamiento hace que las ondas se propaguen a una frecuencia específica en el material (Santos De La Cruz, Cancino Vera, Yenque Dedios, Ramírez Morales, & Palomino Pérez, 2005).

AMPLITUD (A)

Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera como desamortiguada (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada, en este caso la disminución de dicha amplitud se debe a la disipación de energía (cuando los materiales no son perfectamente elásticos) (Rimoldi & Mundo, 2012, pág. 4).

LONGITUD DE ONDA (λ)

De acuerdo al autor (Rimoldi & Mundo, 2012), “Es la distancia entre dos puntos adyacentes de condición de oscilación equivalente mirando en la dirección de propagación” (pág. 4).

Considerando una velocidad V y un periodo T , la longitud de onda estará dada por:

$$\lambda = V \cdot T \quad \dots (1)$$

Considerando una velocidad V y una frecuencia f , la longitud de onda estará dada por:

$$\lambda = V / f \quad \dots (2)$$

En la siguiente imagen se observa una onda senoidal con sus elementos principales.

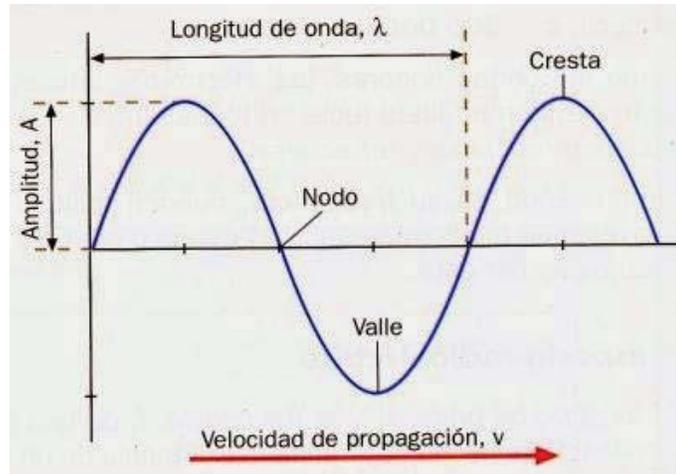


Figura 04.1. Elementos de una onda.

Fuente: Web.

ENSAYOS SÓNICOS

Los ensayos sónicos son pruebas no destructivas que según el autor (Saucedo Abanto, 2016), “se basan en la generación de ondas mecánicas de baja frecuencia (frecuencias menores a 20 KHz)” (pág. 6). Estas ondas se generan por el impacto de la masa de un martillo, comba u otro instrumento similar.

Los ensayos sónicos permiten evaluar las propiedades mecánicas, encontrar defectos, tales como grietas, y determinar la homogeneidad de los materiales de construcción. Esto se realiza utilizando las variaciones de velocidad de las ondas y la atenuación de estas (Saucedo Abanto, 2016, pág. 6).

CONFIGURACIÓN DE ENSAYOS SÓNICOS Y ULTRASÓNICOS

En la bibliografía revisada sobre ensayos ultrasónicos en concreto, se indica que aunque la dirección en la que se propaga la energía máxima es en ángulo recto respecto a la cara del palpador (geófono en el caso de esta investigación) transmisor, es posible la detección de impulsos que circulen a través del hormigón en cualquier otra dirección, otorgando la posibilidad de efectuar medidas de velocidad de impulso situando los dos geófonos en caras opuestas (transmisión directa), en caras adyacentes (transmisión semidirecta), o en la misma cara (transmisión indirecta o superficial) de la estructura de hormigón o de la probeta (Benítez Herreros, 2011), tal como se observa en la Figura 04.2.

La colocación de transmisión indirecta es la menos sensible de las tres. Sólo debe emplearse cuando no se pueda acceder a la pieza a examinar más que por una

cara, o bien cuando el propósito sea comprobar la calidad de la superficie del hormigón en relación con el resto (Benítez Herreros, 2011, pág. 53).

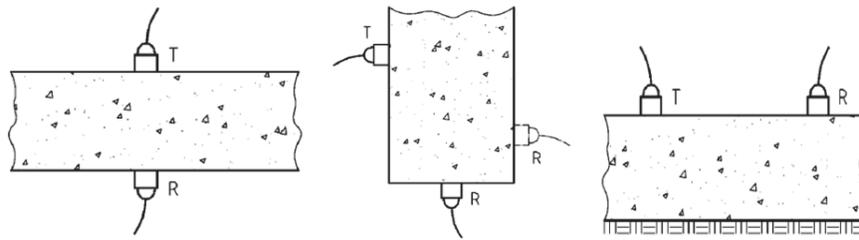


Figura 04.2. Configuración de ensayos ultrasónicos.

Izquierda: Transmisión directa. Medio: Transmisión semidirecta.

Derecha: Transmisión indirecta. Fuente: (Benítez Herreros, 2011, pág. 53)

Existen tres tipos de configuraciones para la realización de ensayos sónicos. Ensayos directos si el emisor y el receptor se encuentran en lados opuestos y paralelos. Indirectos si ambos se ubican en la misma superficie y ensayos semi-directos cuando el emisor y receptor se encuentran en superficies adyacentes y perpendiculares (Saucedo Abanto, 2016, pág. 6). Estos tres tipos de configuraciones se pueden ver en la Figura 04.3.

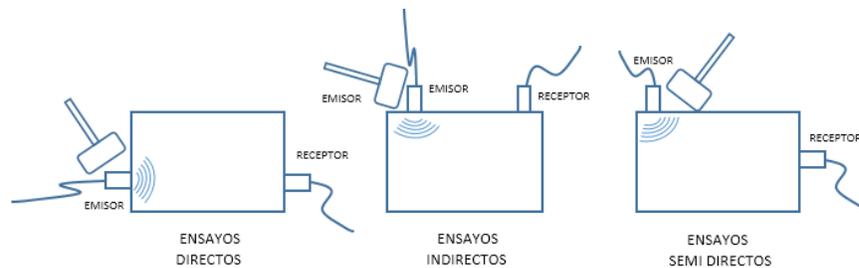


Figura 04.3. Tipo de configuración para ensayos sónicos.

Fuente: Propia.

TIPOS DE ONDAS

Dependiendo de la configuración empleada, existen tipos de ondas que son estudiadas de una manera más fácil. La propagación de las ondas mecánicas en un sólido se lleva a cabo de tres maneras: mediante ondas P (compresión), ondas S (corte) y ondas R (Rayleigh). Las ondas P son ondas longitudinales que atraviesan el sólido. Como se ve en la Figura 04.4a, este tipo de onda desplaza las partículas del material a lo largo de la dirección de propagación de la onda. Para su estudio se pueden emplear ensayos sónicos directos e indirectos. Las ondas S son ondas de corte y desplazan a las partículas en forma perpendicular a

la dirección de viaje de la onda (ver Figura 04.4b). Para su evaluación se recomienda emplear ensayos sísmicos semi-directos. Finalmente en la Figura 04.4c se muestran las ondas R. Estas ondas no penetran el elemento y se propagan a lo largo de su superficie. Este tipo de ondas se pueden analizar al aplicar ensayos sísmicos indirectos (Saucedo Abanto, 2016, págs. 6,7).

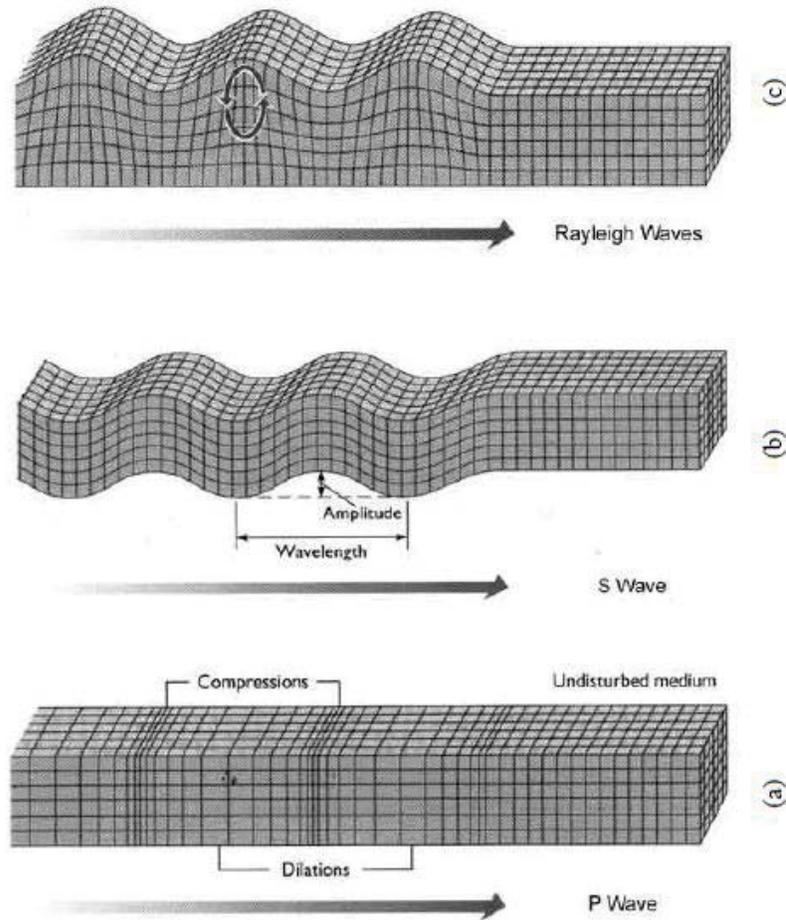


Figura 04.4. Tipos de ondas en un material.

(a): Ondas longitudinales P. (b): Ondas de corte S. (c): Ondas superficiales R.

Fuente: Adaptado de (Saucedo Abanto, 2016, pág. 7).

RELACIÓN DE LA VELOCIDAD CON EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO

Considerando que las ondas las ondas P y S atraviesan un sólido elástico isotrópico, es posible establecer las siguientes fórmulas de relación entre la velocidad con el módulo de elasticidad dinámico, densidad y módulo de Poisson (Saucedo Abanto, 2016).

$$V_p = \sqrt{\frac{E_d(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}} \quad \dots (3)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E_d}{\rho 2(1 + \mu)}} \quad \dots (4)$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{1 - 2\mu}{2(1 - \mu)}} \quad \dots (5)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad dinámico (N/m²).

V: Velocidad en (m/s).

ρ: Densidad del material (Kg/m³).

μ: Módulo de Poisson (adimensional).

RESISTENCIA MÁXIMA

La resistencia a la compresión σ se determinará dividiendo la máxima carga registrada durante el ensayo de compresión entre el área de la sección transversal del espécimen, en este caso de la pila y murete de adobe (Montesinos Escobar, 2016).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots (6)$$

Dónde:

σ: Esfuerzo o Resistencia a la compresión (Kg/cm²)

F: Carga máxima aplicada durante el ensayo (Kg)

A: área de la sección transversal del espécimen (cm²)

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA PROMEDIO

La resistencia promedio $\bar{\sigma}$ se obtiene de la curva esfuerzo deformación en el punto en el que el material alcanzó su límite elástico, se caracteriza por mantenerse constante ante el incremento de deformación. Este fenómeno se observa en la parte post pico final de la curva esfuerzo - deformación tal como se puede apreciar en la Figura 04.5. Para su estimación se utilizaron los datos de

carga y deformación suministrados por el ensayo de compresión uniaxial (Montesinos Escobar, 2016).

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum \sigma}{n} \quad \dots (7)$$

Donde:

$\bar{\sigma}$: Esfuerzo o resistencia a la compresión promedio por tipo de junta (Kg/cm²).

$\sum \sigma$: sumatoria de Esfuerzo o Resistencia a la compresión x tipo de junta (Kg/cm²)

n: número de ensayo por tipo de junta, en este caso 3.

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad (módulo de Young), se define como la pendiente asociada a la curva σ - ϵ (esfuerzo - deformación) en su tramo elástico lineal (Gómez Bermudo, 2016).

Para su cálculo se toma una serie de puntos correspondientes al tramo elástico para lo cual se considera valores de la gráfica comprendidos entre el origen y $1/3\sigma_{\text{máx}}$ (un tercio de resistencia a la compresión máxima) tomando como referencia la Norma UNE-EN 1052-1 (Comité Europeo de Normalización CEN, 1999) y obtenemos el módulo de Young con la siguiente fórmula.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{(F/A)}{(\Delta H/H)} \quad \dots (8)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad (Kg/cm²).

σ : Esfuerzo o Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

ϵ : Deformación específica (mm/mm).

F: Carga máxima aplicada durante el ensayo (Kg).

A: Área de la sección transversal del espécimen (cm²).

ΔH : Deformación vertical (mm).

H: Altura del espécimen (mm).

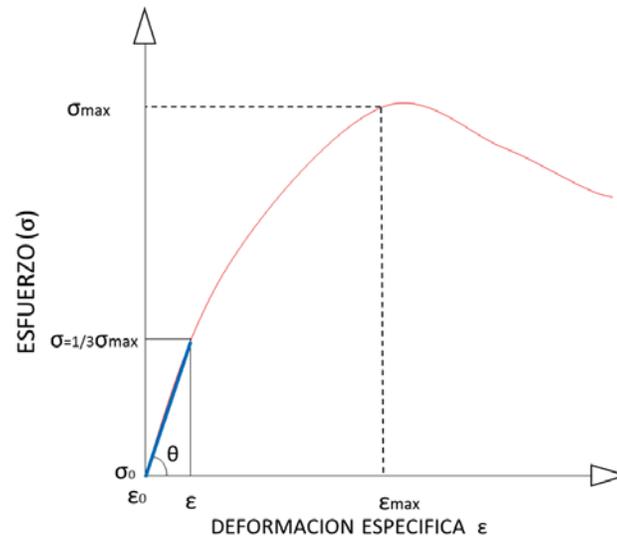


Figura 04.5. Módulo de elasticidad: Curva esfuerzo – deformación.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO V.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

05. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

En este capítulo se detalla el procedimiento realizado en los ensayos de caracterización física y mecánica del material, así como el cálculo y obtención de resultados.

Posteriormente se explica el proceso de elaboración de adobes, proceso constructivo de los muretes y pilas de adobe; la descripción de los ensayos de propagación de onda tanto en los muretes como en los muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas y ensayos de compresión axial en muretes y pilas. El capítulo también considera el registro de datos para su posterior procesamiento, cálculo y obtención de resultados.

05.01. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL MATERIAL

El material utilizado para la construcción de las unidades de adobe y que sirvió de muestra para los diferentes ensayos de caracterización, fue extraído del patio interior del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas - Cusco. Este material quedó como excedente a eliminar producto de los trabajos de refacción que se realizaron en el templo meses anteriores, por lo que se asume que este material formó parte de la mampostería del templo. Se extrajo y trasladó una cantidad considerable de material de las inmediaciones del templo a las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Se determinó los ensayos a realizar de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP), Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales - ASTM). Estos ensayos de caracterización están establecidos según las siguientes normas:

- NTP - 339.127 “Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo”.
- NTP - 339.128 “Análisis granulométrico de suelos por tamizado”.
- NTP - 339.129 “Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos”.

05.01.01. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Para realizar este ensayo, se trajo muestra de suelo de aproximadamente 5000 gr del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas siguiendo las recomendaciones de la Norma MTC E 104 “*Conservación y Transporte de Muestras de Suelos*”. Tratándose de una muestra que únicamente necesita ensayos de contenido de humedad, se protegió la muestra de suelo en bolsas plásticas cerradas a prueba de humedad con la finalidad de preservar las condiciones propias de la muestra. Esta muestra de suelo sirvió para determinar el contenido de humedad natural del material en base a la Norma NTP - 339.127 (ASTM D 2216).

Según la Norma NTP - 339.127, el contenido de humedad de un suelo está dado por la relación entre el peso del agua en una masa de suelo y el peso seco de las partículas sólidas expresado en porcentaje. El peso seco de un suelo húmedo se logra colocando la muestra en un horno controlado a 110 ± 5 °C. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

RESULTADOS DEL ENSAYO

Se consideró tres muestras con sus respectivas cápsulas. Se registró el peso de las mismas y luego fueron sometidas a secado en horno por 24 horas. Transcurrido este periodo fueron pesadas nuevamente y se procedió a calcular la relación de peso de agua entre peso del suelo seco tal como se detalla en la Tabla 05.1.

Tabla 05.1. Cálculo del Contenido de Humedad Natural de Suelo.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE CÁPSULA	63.92	60.43	59.84	
PESO DE CÁPSULA + MATERIAL HÚMEDO	74.92	72.46	72.05	
PESO DE CÁPSULA + MATERIAL SECO	73.55	70.82	70.48	
PESO DEL AGUA	1.37	1.64	1.57	
PESO DEL SUELO SECO	9.63	10.39	10.64	
CONTENIDO DE AGUA (%)	14.23%	15.78%	14.76%	14.92%

Según los resultados obtenidos, el contenido de humedad natural promedio del suelo extraído del Templo de Andahuaylillas es de 14.92 %.

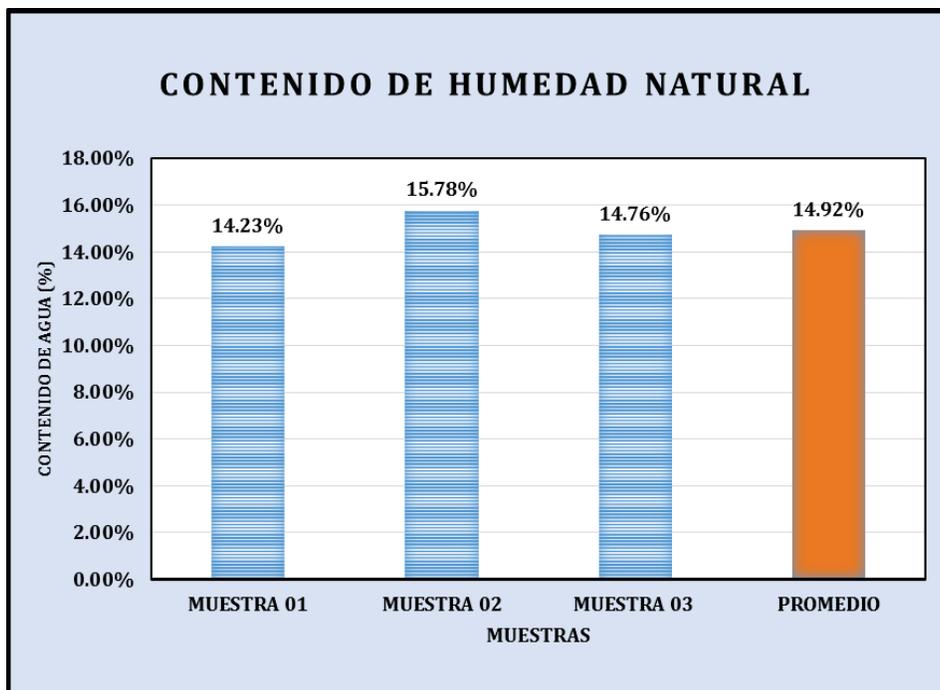


Figura 05.1. Gráfica de contenido de humedad.

Fuente: Propia.

05.01.02. ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Acorde a la Norma NTP - 339.129, el ensayo de límites de consistencia implica la determinación de tres parámetros los cuales vienen a ser el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. Estos parámetros son usados tanto individual como en conjunto con otros parámetros de ensayos de suelos para evaluar su comportamiento ingenieril y geotécnico.

El límite líquido de un suelo viene a ser el contenido de humedad para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Para realizar este ensayo se hace uso del aparato de límite líquido más conocido como la Cuchara de Casagrande según lo establecido en la Norma NTP - 339.129. El límite plástico viene a ser el contenido de humedad para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido. Esto se consigue formando barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando el suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. Por último, el índice de plasticidad resulta de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico en porcentaje.



Figura 05.2. Ensayo de límites de consistencia.

Fuente: Propia.

RESULTADOS DEL ENSAYO

LÍMITE LÍQUIDO “LL”

Tabla 05.2. Cálculo del límite líquido del suelo.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN / N° DE CÁPSULA	01	02	03	04
NÚMERO DE GOLPES	22	26	30	33
PESO DE SUELO HÚMEDO + CÁPSULA (gr)	64.64	68.60	64.74	67.08
PESO DE SUELO SECO + CÁPSULA (gr)	62.63	66.01	63.01	65.15
PESO DE CÁPSULA (gr)	57.34	59.16	58.33	59.77
PESO DE SUELO SECO (gr)	5.29	6.85	4.68	5.38
PESO DE SUELO HÚMEDO (gr)	7.30	9.44	6.41	7.31
PESO DE AGUA (gr)	2.01	2.59	1.73	1.93
CONTENIDO DE HUMEDAD	38.00%	37.81%	36.97%	35.87%

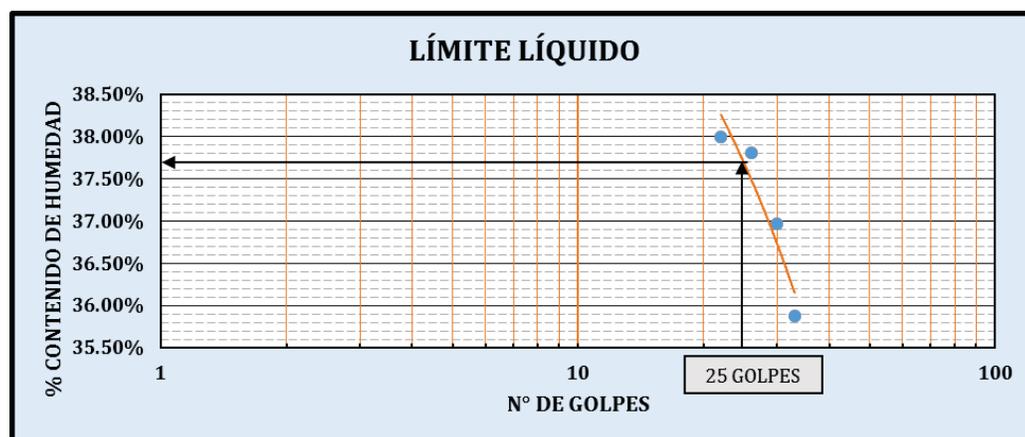


Figura 05.3. Gráfica de límite líquido.

Fuente: Propia.

Según los resultados obtenidos, el límite líquido para 25 golpes del suelo extraído del Templo San Pedro Apóstol de Andahuayllillas es de 37.71 %.

LÍMITE PLÁSTICO “LP”

Tabla 05.3. Cálculo del límite plástico del suelo.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN / N° DE CÁPSULA	01	02	03	PROMEDIO
PESO DE SUELO HÚMEDO + CÁPSULA (gr)	69.75	69.78	70.14	
PESO DE SUELO SECO + CÁPSULA (gr)	68.18	67.85	68.25	
PESO DE CÁPSULA (gr)	61.83	59.60	60.24	
PESO DE SUELO SECO (gr)	6.35	8.25	8.01	
PESO DE SUELO HÚMEDO (gr)	7.92	10.18	9.90	
PESO DE AGUA (gr)	1.57	1.93	1.89	
CONTENIDO DE HUMEDAD	24.72%	23.39%	23.60%	23.90%

Según los resultados obtenidos, el límite plástico para el suelo extraído del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas es de 23.90 %.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD “IP”

En base a los resultados anteriores de límite líquido y límite plástico se calcula el índice de plasticidad con la fórmula 9:

$$IP = LL - LP \quad \dots (9)$$

$$IP = 37.71\% - 23.90\%$$

$$IP = 13.81\%$$

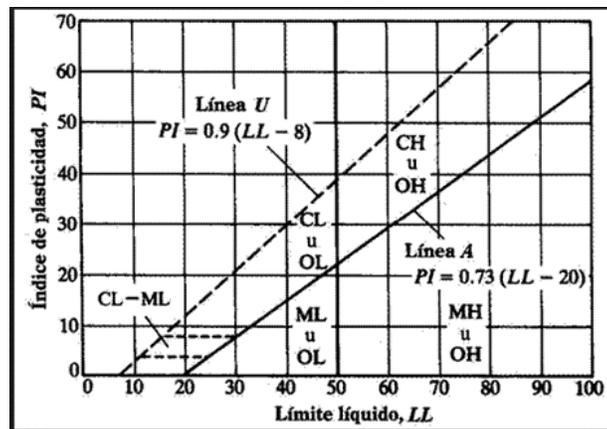


Figura 05.4. Carta de plasticidad de Casagrande.

Fuente: Web.

Según la carta de plasticidad de Casagrande, el suelo fino está constituido por partículas de arcilla de baja plasticidad CL.

05.01.03. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El estudio de granulometría de material en estudio por tamizado, se realizó en base a la norma NTP - 339.128, con la finalidad de conocer la distribución de las partículas que posee el material utilizado tanto para elaboración de las unidades de adobe y también en el mortero en la elaboración de la mampostería de adobe, el ensayo se realizó en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco. Según la norma E-080 del año 2015, recomienda elaborar adobes con una gradación aproximada en arcilla 10-20%, limo 15-25%, arena 55-75%, no 0% gravas. Otros investigadores nacionales en la albañilería de adobe (Blondet, San Bartolomé, Vargas, etc) también recomiendan proporciones similares.

RESULTADOS DEL ENSAYO

Tabla 05.4. Análisis granulométrico por tamizado.

Fuente: Propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

NTP - 339.128

PESO DE LA MUESTRA LAVADA SECA +RECIPIENTE	560.9	gr
PESO DEL RECIPIENTE	185.15	gr
PESO DE LA MUESTRA LAVADA SECA	375.75	gr
PESO DE LA MUESTRA SECA	415.29	gr
MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N° 200	39.54	gr

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA					
	ABERTURA (mm)	PESO RET (gr)	PESO RET CORREGIDO (gr)	RET (%)	% RET ACUMULADO	PASA (%)
1 1/2"	38.1	0	0	0.00		
1"	25.4	0	0	0.00	0.00	100
3/4"	19.05	4.381	4.381	1.06	1.06	98.94
1/2"	12.7	0	0	0.00	1.06	98.94
3/8"	9.525	0	0	0.00	1.06	98.94
1/4"	6.35	0	0	0.00	1.06	98.94
N° 4	4.76	62.49	62.49	15.07	16.13	83.87
N° 6	3.36	0	0	0.00	16.13	83.87
N° 8	2.38	51.43	51.43	12.41	28.54	71.46
N° 10	2	11.63	11.63	2.81	31.34	68.66
N° 16	1.19	30.5	30.5	7.36	38.70	61.30
N° 20	0.84	15.42	15.42	3.72	42.42	57.58
N° 30	0.59	0	0	0.00	42.42	57.58
N° 40	0.426	32.22	32.22	7.77	50.19	49.81
N° 50	0.297	0	0	0.00	50.19	49.81
N° 60	0.26	26.38	26.38	6.36	56.56	43.44
N° 80	0.177	0	0	0.00	56.56	43.44
N° 100	0.149	52.26	52.26	12.61	69.16	30.84
N° 200	0.074	86.66	86.66	20.90	90.07	9.93
-200		1.63	41.17	9.932	100.00	0.00
		375.001	414.54238	100.000		

PORCENTAJE DE GRAVA, ARENA Y FINOS

GRAVA:	16.13 %
ARENA :	73.94 %
FINOS:	9.93 %

PLASTICIDAD

LL	37.71 %
LP	23.90 %
IP	13.72 %

D10 :	0.074
D30 :	0.183
D60 :	1.070
Cu=	14.37
Cc=	0.42



Figura 05.5. Ensayo de granulometría.
Fuente Propia.

Del ensayo de análisis granulométrico se verificó que el suelo en estudio posee un 16.13 % de grava, 73.94 % de arena y un 9.93 % de finos. Este porcentaje de finos está constituido por partículas de arcilla y limo pero en la práctica de la ingeniería no es relevante realizar una cuantificación del porcentaje de arcillas y limos.

Se puede apreciar que la distribución granulométrica del suelo no se encuentra dentro de los rangos recomendados, sin embargo en la presente investigación se utilizó este material para la elaboración de las unidades de adobe y el mortero por ser el más cercano y semejante al utilizado en la mampostería del templo San Pedro Apóstol De Andahuaylillas.

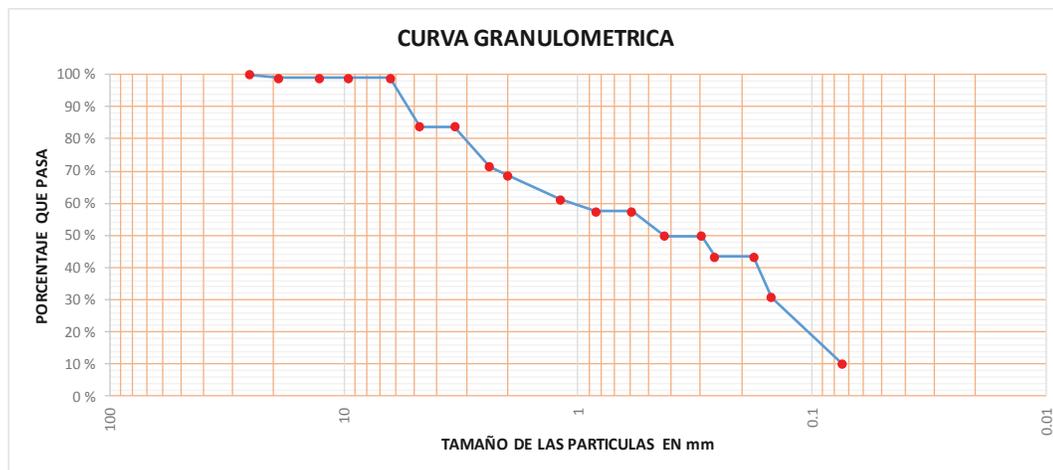


Figura 05.6. Distribución granulométrica del suelo en estudio.
Fuente: Propia.

05.02. PROCESO DE ELABORACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE

05.02.01. PREPARACIÓN DE LA TIERRA Y MEZCLADO DE BARRO

La elaboración de las unidades de adobe se realizó en base a lo establecido en el capítulo IV Construcción de Edificaciones de Adobe Reforzado, artículos 17, 18 y 19 de la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada ante la ausencia de reglamento para adobe sin reforzamiento.

Luego del traslado de la tierra y comprobada la calidad y condiciones de la tierra, se procedió al cernido del material con zaranda. De esta manera se procuró desmoronar los terrones del material y eliminar piedras y cuerpos contaminantes.

Posteriormente se procedió al humedecimiento de la tierra zarandeada, mezclándola con paja cortada entre 5.00 cm y 6.00 cm de longitud y se dejó reposando el material por 48 horas (proceso de dormido); esto para que la humedad penetre totalmente en los grumos arcillosos. El material mezclado estuvo cubierto con paja durante su reposo para conservar su humedad.

Cumplidas las 48 horas, se procedió nuevamente al mezclado, pisado y volteado de la masa adicionando cantidades de paja cortada para controlar el posible agrietamiento de las unidades de adobe. Este proceso de mezclado se realizó hasta tener una masa trabajable y considerablemente reforzada ante las fisuras.



Figura 05.7. Zarandeado de material, mezclado, pisado y adición de paja.

Fuente: Propia.

05.02.02. MOLDEADO DE LAS UNIDADES DE ADOBE

Según el artículo 18 del capítulo IV “*Construcción de Edificaciones de Adobe Reforzado*” de la Norma E.080 “*Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*”, el bloque de adobe puede ser de planta cuadrangular o rectangular. Además de ello, señala que el bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho y que la altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.

Es así que por facilidades de transporte y evitar la construcción de muretes y pilas de peso excesivo, se optó que la altura de la unidad de adobe fuera la mínima planteada en la Norma E.080, siendo las dimensiones de los bloques de adobe de 0.08mx0.16mx0.32m, respetando lo estipulado en el reglamento.

Definidas las dimensiones, se procedió al traslado del barro dormido a la zona de moldeado de los adobes. Esta zona estuvo protegida del sol y del viento y se espolvoreó arena fina para evitar restricciones durante el encogimiento de secado.

Se preparó una adobera con material triplex fenólico con el fin de obtener bloques de adobe con superficies bien definidas y facilitar la extracción de las unidades. Las dimensiones de esta adobera fueron de 0.082mx0.162mx0.322m con consideraciones de milímetros extra para compensar la pérdida de las dimensiones de las unidades por efecto de la contracción y secado.



Figura 05.8. Adobera de triplex fenólico de 8.2cmx16.2cmx32.2cm.

Fuente: Propia.



Figura 05.9. Extracción de adobes sobre cama de arena fina.

Fuente: Propia.



Figura 05.10. Trabajo de elaboración de adobes concluido.

Fuente: Propia.



Figura 05.11. Volteado de adobes y perfilado de aristas de la base.

Fuente: propia.



Figura 05.12. Apilado de unidades secas de adobe.

Fuente: Propia.

05.02.03. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA UNIDAD DE ADOBE

Se realizó el ensayo de compresión simple en unidades de adobe en la maquina universal en base a la norma E-080.

Tabla 05.5. Dimensiones de las unidades de adobe.

Fuente: Propia.

ADOBE	DIMENSIONES (cm)		
	Longitud	Ancho	Espesor
1	32.0	16.0	8.0
2	32.0	16.0	8.0
3	32.0	16.0	8.0

Durante el proceso de secado las unidades de adobe sufrieron contrataciones longitudinales y transversales debido a la influencia de la temperatura. Estas contracciones fueron milimétricas por lo que se consideraron despreciables para realizar estos ensayos y se consideraron sus dimensiones de diseño 8.00cmx16.00cmx32.00cm.

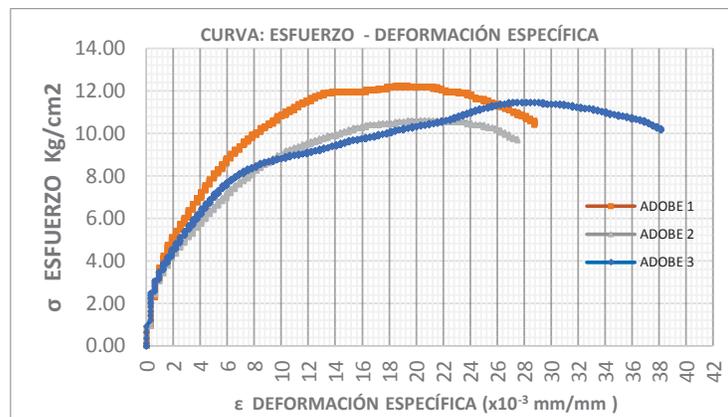


Figura 05.13. Curva esfuerzo – deformación.

Fuente: Propia.

Para determinar la resistencia a compresión de las unidades de adobe, previamente se tallaron hasta poseer la forma de un cubo con 8 cm de lado (por ser esta dimensión la de su menor arista), según la norma según E-080. La resistencia a la compresión σ se obtuvo dividiendo la máxima carga registrada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots (10)$$

Según la norma UNE-EN 1052-1 (Comité Europeo de Normalización CEN, 1999) el valor del módulo de elasticidad se estima como la pendiente de la recta que une los puntos de la curva esfuerzo-deformación correspondiente al inicio y a 1/3 de la resistencia a compresión.

$$E = \frac{1/3 * \sigma_{max}}{\epsilon_{1/3}} \quad \dots (11)$$

Tabla 05.6. Resultado de ensayo de compresión de unidades de adobe.

Fuente: Propia.

ADOBE	σ_{max} (Kg/cm ²)	ϵ_{falla} (x10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
1	12.24	19.063	3265.21	320.21
2	10.61	21.875	2828.59	277.39
3	11.46	26.875	3056.39	299.73
\bar{X}	11.44	22.604	3050.06	299.11
α	0.82	3.957	21.42	
CV	7%	18%	7%	

El promedio de la resistencia a compresión obtenido de las unidades de adobe es de 11.44 Kg/cm² lo cual es cercano al mínimo sugerido en la norma E 080, que es de 12.00 Kg/cm².

05.02.04. ENSAYO DE CONTENIDO EN PORCENTAJE DE PAJA

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Tanto las unidades de adobe como el mortero de la mampostería de adobe, poseen como aditivo natural a la paja que ayuda al control de las fisuras y resistencia. Por ello es importante determinar el porcentaje de paja que se utilizó en el barro preparado para la presente investigación.

Durante el preparado del barro de las unidades de adobe y del mortero de las juntas, se empleó paja cortada en longitudes entre 5.00 a 6.00 cm en promedio y se distribuyó en el barro dormido, amasándolo con volteos de pala y pisado. No se encontró una referencia para determinar el contenido de paja en porcentaje por lo que en base a los ensayos de contenido de humedad y lavado de material para el ensayo de granulometría, se estableció lavar las muestras de unidad de adobe y mortero utilizando la malla N°30. Al mojar las muestras en un recipiente, por el principio de Arquímedes la paja ($\rho = 150 \text{ Kg/m}^3$. Fuente: Web⁸) queda flotando en el agua ($\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$), mientras que la tierra se sedimenta en el fondo del recipiente. Se fue separando y acumulando la paja flotante y sobrante en el tamiz N°30, para su posterior secado y pesado.



Figura 05.14. Lavado de material para determinar el contenido de paja.

Fuente: Propia.

⁸ <http://numero-12.blogspot.com/2009/10/que.html>

RESULTADOS DEL ENSAYO

CONTENIDO DE PAJA (%) EN UNIDADES DE ADOBE

Tabla 05.7. Cálculo del contenido de paja en porcentaje de las unidades de adobe.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE POSILLO	160.37	159.25	156.04	
PESO DE POSILLO + MATERIAL	986.80	958.40	872.15	
PESO DE PAJA HÚMEDA	33.77	33.23	31.24	
PESO DE PAJA SECA	9.79	10.05	8.88	
PESO DE MATERIAL SECO	826.43	799.15	716.11	
CONTENIDO DE PAJA (%)	1.18%	1.26%	1.24%	1.23%

Según los resultados obtenidos, el contenido de paja promedio en las unidades de adobe es de 1.23 %.

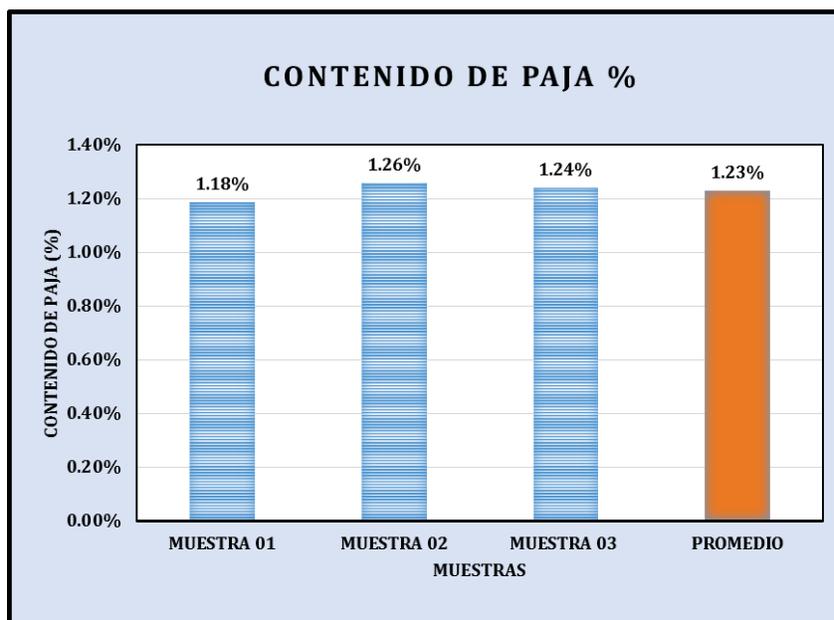


Figura 05.15. Gráfica de contenido de paja (%) en unidades de adobe.

Fuente: Propia.

CONTENIDO DE PAJA (%) EN MORTERO DE JUNTAS

Tabla 05.8. Cálculo del contenido de paja en porcentaje del mortero de las juntas.

Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
PESO DE POSILLO	170.23	175.56	162.14	
PESO DE POSILLO + MATERIAL	987.42	1011.60	849.50	
PESO DE PAJA HÚMEDA	32.21	37.43	32.40	
PESO DE PAJA SECA	10.92	12.83	11.10	
PESO DE MATERIAL SECO	817.19	836.04	687.36	
CONTENIDO DE PAJA (%)	1.34%	1.53%	1.61%	1.50%

Según los resultados obtenidos, el contenido de paja promedio en el mortero de las juntas es de 1.50 %.

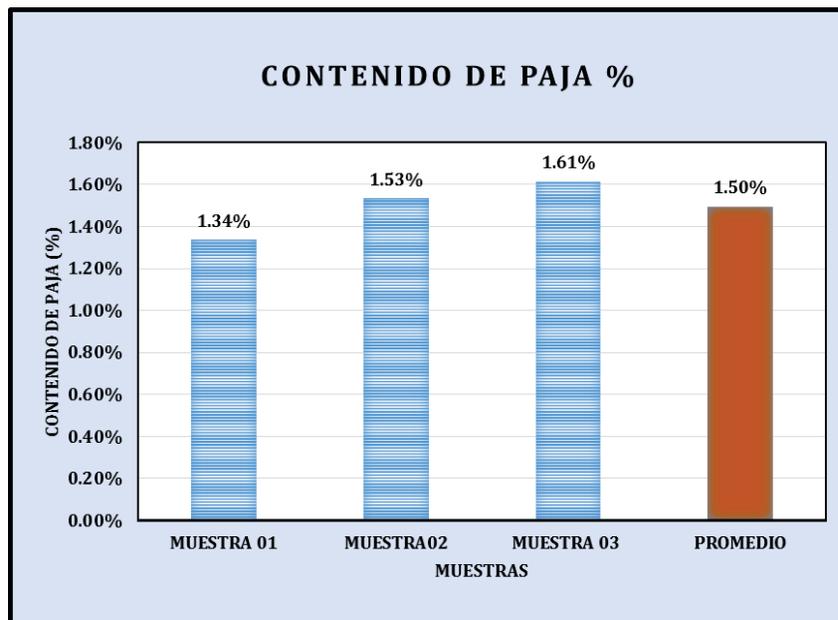


Figura 05.16. Gráfica de contenido de paja (%) en mortero de juntas.

Fuente: Propia.

05.03. CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES DE ADOBE

Según el numeral 19.5, artículo 19, del capítulo IV "Construcción de Edificaciones de Adobe Reforzado" de la Norma E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada", el espesor de las juntas puede variar entre 0.50 cm y 2.00 cm. También especifica que sólo para muros de adobe con reforzamiento de caña o similares, el espesor de la junta podrá ser de 4.00 cm. En el numeral 7.3, artículo 7, del capítulo II "Consideraciones Generales para la Construcción de Edificaciones de Tierra Reforzada" de la Norma E.080, se recomienda que en el caso de construir muros con adobes de forma cuadrada o rectangular, las juntas verticales no deben exceder de 3.00 cm en su parte más ancha.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones de la Norma E.080, en la presente investigación se construyeron pilas y muretes con espesor de juntas de 1.00 cm, 2.00 cm y 3.00 cm. Esto para ver su comportamiento y analizar los resultados obtenidos según el espesor de junta del espécimen ensayado.

Para tener un mejor control del espesor de las juntas horizontales y verticales se elaboraron moldes de madera con espesores de 1.50 cm, 2.50 cm y 3.50 cm tal

como se aprecia en la Figura 05.17. Se puede notar que el espesor de los moldes es mayor al espesor de las juntas en medio centímetro. Este medio centímetro es reducido al mínimo durante el proceso constructivo debido al acomodo de la unidad de adobe que va encima y por efectos de asentamiento que se producen por el peso propio del bloque de adobe.



Figura 05.17. Moldes de control de espesor de juntas.

Fuente: Propia.

05.03.01. CONSTRUCCIÓN DE PILAS DE ADOBE

Para el desarrollo de la investigación se construyeron 9 pilas compuestas por unidades de adobe de 0.08mx0.16mx0.32m con variaciones en el espesor de las juntas verticales y horizontales haciendo uso de los moldes de madera.

El molde fue colocado encima de la superficie del adobe de la hilada inferior y fue rellena con mortero de barro previamente preparado con la misma tierra usada para los bloques de adobe y paja. Una vez enrasado el mortero, el molde fue retirado y se asentó el bloque de adobe que va encima.



Figura 05.18. Colocación de molde y relleno con mortero de barro al ras.

Fuente: Propia.



Figura 05.19. Retiro de molde y asentado de adobe.

Fuente: Propia.

En el numeral 19.1, artículo 19, del capítulo IV “Construcción de Edificaciones de Adobe Reforzado” de la Norma E.080 se especifica que se debe remojar los bloques de adobe antes de asentarlos entre 15 a 30 segundos; sin embargo al intentar cumplir con esta recomendación, se evidenció que remojar el bloque de adobe entre 15 a 30 segundos debilitaba su estructura y las unidades terminan partiéndose durante el asentado. Por esta razón sólo se humedeció la cara del bloque de adobe a entrar en contacto con el mortero.

Terminado el proceso de acomodo de las unidades de adobe, se verificó que el espesor final de las juntas fuera de 1.00 cm, 2.00 cm y 3.00 cm. Se verificó la horizontalidad de las pilas con nivel de mano y la verticalidad con plomada.



Figura 05.20. Medición del espesor de junta y control de verticalidad con plomada.

Fuente: Propia.

05.03.01.01. ESBELTEZ DE LAS PILAS

Se controló la esbeltez de las pilas conforme a lo recomendado en el artículo 8 del capítulo II, “Consideraciones Generales para la Construcción de Edificaciones de Tierra Reforzada” de la Norma E.080. En el artículo mencionado se muestra la imagen de la Figura 05.21.

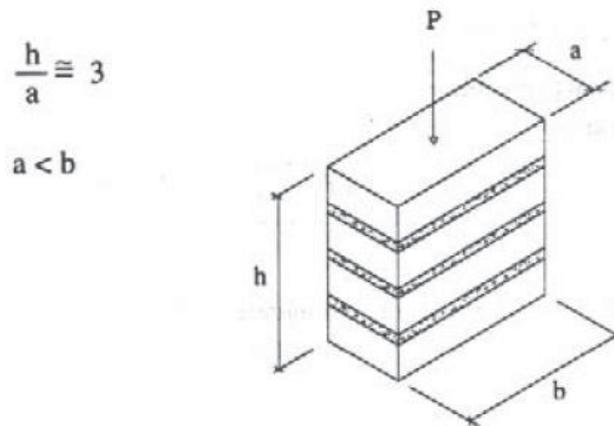


Figura 05.21. Relación de esbeltez.

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

De donde se tiene que la relación altura – ancho debe de estar entre un valor cercano a 3. Teniendo en cuenta esta consideración se construyeron las pilas con variaciones en altura y con esbelteces cercanas al valor de 3 tal como se aprecia en la Tabla 05.9.

Tabla 05.9. Dimensiones y relación de esbeltez de las pilas de adobe.

Fuente: Propia.

PILA	ESPESOR "e" (cm)	ANCHO "A" (cm)	ALTURA "H" (cm)	RELACIÓN DE ESBELTEZ
P1	3.00	16.00	47.90	2.99
P2	3.00	16.00	48.50	3.03
P3	3.00	16.00	48.40	3.03
P4	2.00	16.00	45.50	2.84
P5	2.00	16.00	46.00	2.88
P6	2.00	16.00	45.50	2.84
P7	1.00	16.00	43.50	2.72
P8	1.00	16.00	43.40	2.71
P9	1.00	16.00	43.50	2.72

05.03.02. CONSTRUCCIÓN DE MURETES DE ADOBE

En base a las consideraciones para la construcción de las pilas, se construyeron 9 muretes compuestos por unidades de adobe de 0.08mx0.16mx0.32m con variaciones en el espesor de las juntas verticales y horizontales haciendo uso de los moldes de madera.

Para su construcción se colocó el molde encima de la superficie del adobe de la hilada inferior y se rellenó con mortero de barro. Luego se enrasó el mortero, se retiró el molde y se asentó el bloque de adobe que va encima. Al igual que para las pilas, sólo se humedeció la cara del bloque de adobe a entrar en contacto con el mortero por un corto lapso de tiempo.



Figura 05.22. Colocación de molde y relleno con mortero de barro.

Fuente: Propia.



Figura 05.23. Enrasado de mortero de barro.

Fuente: Propia.



Figura 05.24. Retiro de molde y humedecimiento de unidades.

Fuente: Propia.



Figura 05.25. Asentado y acomodo de unidades de adobe.

Fuente: Propia.

Terminado el proceso de acomodo de las unidades de adobe, se verificó que el espesor final de las juntas verticales y horizontales fuera de 1.00 cm, 2.00 cm y 3.00 cm. Se verificó la horizontalidad de las hiladas de los muretes con nivel de mano y la verticalidad con plomada.



Figura 05.26. Control de verticalidad con plomada.

Fuente: Propia.



Figura 05.27. Control de espesor de junta y muro terminado $e = 2.00$ cm.

Fuente: Propia.

Tabla 05.10. Dimensiones de muretes de adobe.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR "e" (cm)	LARGO "L" (cm)	ALTURA "H" (cm)	ANCHO "A" (cm)	DIAGONAL (cm)
M1	1.00	64.90	61.60	16.00	90.30
M2	1.00	64.90	61.00	16.00	90.10
M3	1.00	65.00	61.25	16.00	89.75
M4	2.00	66.00	66.40	16.00	93.00
M5	2.00	65.80	65.90	16.00	92.40
M6	2.00	66.10	66.80	16.00	93.20
M7	3.00	66.80	70.15	16.00	95.60
M8	3.00	67.00	71.00	16.00	96.00
M9	3.00	67.00	70.00	16.00	96.40

05.04. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

Las pruebas de propagación de ondas son ensayos sónicos que puede ser realizados siguiendo tres tipos de configuración ya sea la directa, indirecta o semi-directa tal como se observó en la Figura 04.3.

Para los ensayos sónico se considera que la frecuencia utilizada se encuentra entre el rango audible por el ser humano. El límite inferior de este rango se halla alrededor de 16 Hz y el superior alrededor de 20 KHz.

En la presente investigación, se realizaron pruebas sónicas de propagación de ondas tanto en los muretes de adobe construidos, así como en los muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

05.04.01. EQUIPO UTILIZADO PARA ENSAYOS DE PROPAGACIÓN

CARACTERÍSTICA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Para el desarrollo de estos ensayos de propagación de ondas se utilizó un equipo elaborado para la presente tesis haciendo uso de tecnología y conocimiento cusqueño. Este equipo es un sistema DAQ (dispositivo adquisidor de datos) que fue bautizado con el nombre de “**Registrador de Datos para la Medición de Velocidad de Onda**”. Las partes de un Sistema DAQ son los sensores, el dispositivo DAQ y la PC tal como se observa en la figura.



Figura 05.28. Partes de un sistema DAQ.

Fuente: Web National Instruments.

Las características del dispositivo DAQ y el equipo son las siguientes:

- Consta de dos canales o entradas analógicas 2X.
- El ADC (Conversor Analógico Digital) utilizado tiene una resolución de 12 Bits y una sensibilidad de 80uV.
- Posee una velocidad programable de adquisición de datos que van desde los 5KHz hasta los 40KHz.
- La alimentación y consumo de energía es a través del puerto USB (100mA a 5V, 0.5W).
- El software empleado en Python, es compatible con los sistemas Windows, Mac, GNU-Linux.
- Para la comunicación con la PC dispone de puerto USB y los datos registrados pueden ser guardados en formato CSV (Similar a Excel).
- Consta de dos sensores sísmicos (geófonos) conectados al equipo vía cable. Un geófono actúa como emisor de la señal transmitida (geófono de salida) y el otro actúa como receptor de la señal transmitida (geófono de llegada).

FUNCIONAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Los geófonos son transductores de velocidad que transforman un fenómeno de desplazamiento en una señal eléctrica, que se puede medir utilizando circuitos electrónicos.

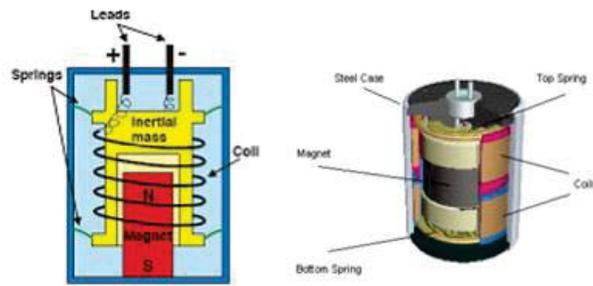


Figura 05.29. Sensores sísmicos (geófonos).

Fuente: Web

La señal eléctrica consiste en una diferencia de potencial presente en los terminales representados en la figura anterior (leads). Para que estas señales sean detectadas por un registrador de datos, es necesario amplificar las señales utilizando un circuito electrónico denominado amplificador de instrumentación.

Un amplificador de instrumentación (formado por varios amplificadores diferenciales) está caracterizado por su alta fidelidad y alta impedancia, lo que permite detectar señales débiles y rechazar al ruido en modo común haciendo que solo se amplifique la señal, más no el ruido eléctrico que podría afectar a las líneas de transmisión de la señal.

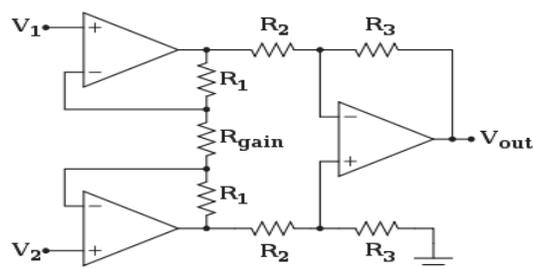


Figura 05.30. Esquema de un amplificador de instrumentación.

Fuente: Web.

El amplificador de instrumentación utilizado es el AD620, que permite amplificar la señal de salida de los geófonos, hasta 1000 veces (utilizando un potenciómetro, para variar la resistencia que determina la ganancia del amplificador), luego esta señal amplificada es capturada por un microcontrolador, que digitaliza la señal y la puede expresar de manera numérica.

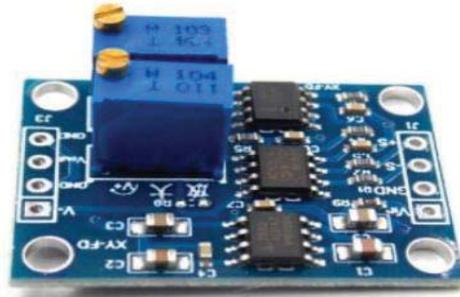


Figura 05.31. Módulo amplificador de instrumentación AD620.

Fuente: Web.

El Microcontrolador utilizado para conversión de la señal analógica a digital es el STM32F103T6C8. Para programar la captura de las señales se utilizó la plataforma CubeMX y Keil para ARM con el MDK 5.

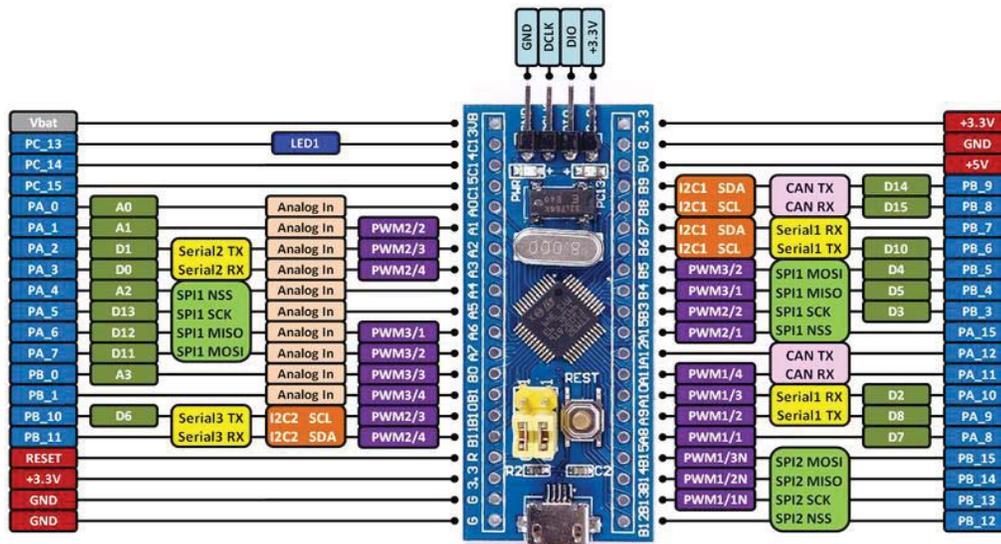


Figura 05.32. Tarjeta de desarrollo STM32F103.

Fuente: Web.

La programación se realiza en el software STM32Duino. El funcionamiento consiste en enviar un comando de inicialización, a través de la interfaz gráfica, que le indica la sensibilidad para comenzar a grabar el fenómeno y la velocidad de captura. Posteriormente, el microcontrolador envía a la PC los datos adquiridos de ambos canales. La transmisión se realiza en texto legible y se envía por un terminal de comunicación a la PC donde esté conectado.

```

    led40FF ();
}
}

GDB Session x GDB Console x GDB Variables x GDB Disassembly x GDB C
0x080004d4: mov r0, r4
0x080004d6: bl 0x080041c <getKeyEvent>
0x080004da: cap r0, #1
0x080004dc: bne.n 0x08004f6 <main+62>
.\user-code\main.c:28
.\user-code\main.c:29
0x080004de: mov r0, r4
0x080004e0: bl 0x080042c <resetKeyEvent>
.\user-code\main.c:30
0x080004e4: bl 0x0800540 <led300>
.\user-code\main.c:31
0x080004e8: bl 0x0800560 <led400>
.\user-code\main.c:32
0x080004d0: ldr r6, [pc, #44] ; (0x0800500 <main+72>)
0x080004d2: ldr r5, [pc, #48] ; (0x0800504 <main+76>)
0x080004ec: mov r0, r6
0x080004ee: mov r1, r5

```

Figura 05.33. Captura de pantalla del software de desarrollo.

Fuente: Propia

```

pk++;
..if (pk > prebufferSize)
.....pk=0;

..if (Vsrce > threshold)
.....{
.....for (i = 0; i < bufferSize; i++)
.....{
.....sinkbuff[i] = analogRead(Gsink) - 2042;
.....srcebuff[i] = analogRead(Gsrce) - 2042;
.....delayMicroseconds(delayCor);
.....}

.....for (i = 0; i < prebufferSize; i++)
.....{
.....if ((pk+i) < prebufferSize) vectorbias=0;
.....else vectorbias=prebufferSize;
.....
.....Serial.print(i);
.....Serial.print(",");
.....Serial.print(preSrcebuff[pk + i - vectorbias]);
.....Serial.print(",");

```

Figura 05.34. Segmento del código realizado con STM32Duino.

Fuente: Propia.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARIOS

Como complemento al dispositivo DAQ, los geófonos y la PC, se utilizó unos soportes para colocar los geófonos. La señal en el muro es generada por el golpe producto del impacto entre una comba de goma no instrumentada y la superficie del muro de adobe. Para controlar las dimensiones y distancias, se empleó un flexómetro de 5.00 m y una wincha de 30.00 m. En la Figura 05.35 se observa todo el equipo e instrumentos empleados durante los ensayos.



Figura 05.35. Equipo e instrumentos para ensayo de propagación de onda.

Fuente: Propia.

05.04.02. FUNCIONAMIENTO Y USO DEL SOFTWARE DEL EQUIPO

Una vez definida la posición de los geófonos y conectado el DAQ al computador, se abre la ventana principal del software y se configura la frecuencia de muestreo fs a utilizar que puede ser desde 5 KHz, 10 KHz, 20 KHz hasta 40 KHz.

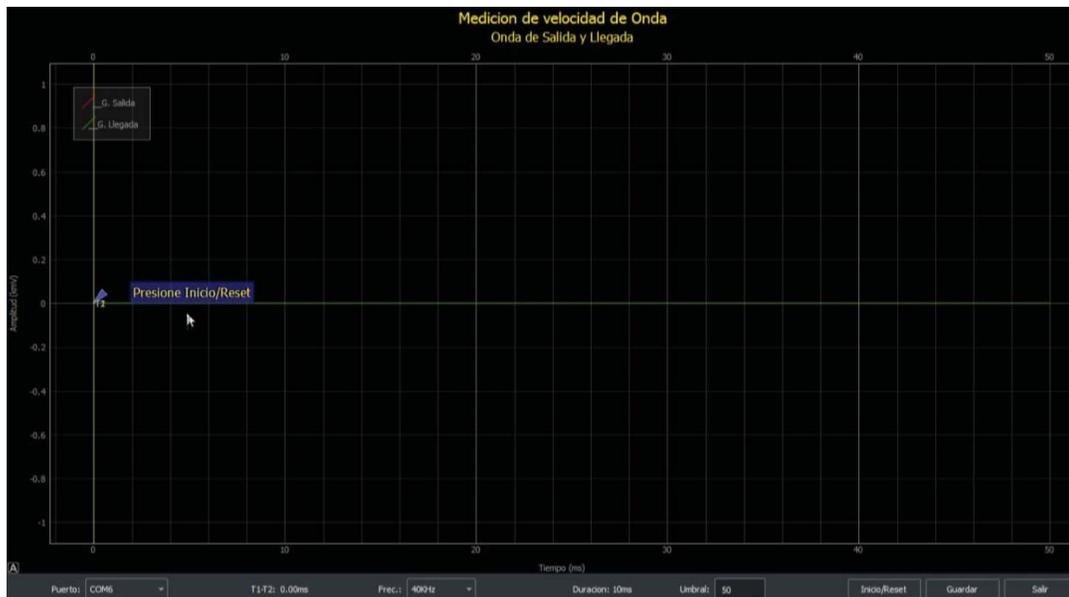


Figura 05.36. Ventana principal del software.

Fuente: Propia.

Definida la frecuencia de muestreo, se selecciona el botón de inicio/reset del software y aparecerá un mensaje que dice esperando trigger o esperando el disparador del equipo. En ese momento el equipo registrará el mínimo impacto o

ruido de interferencia que se genere en el ambiente donde se desarrolla el ensayo.

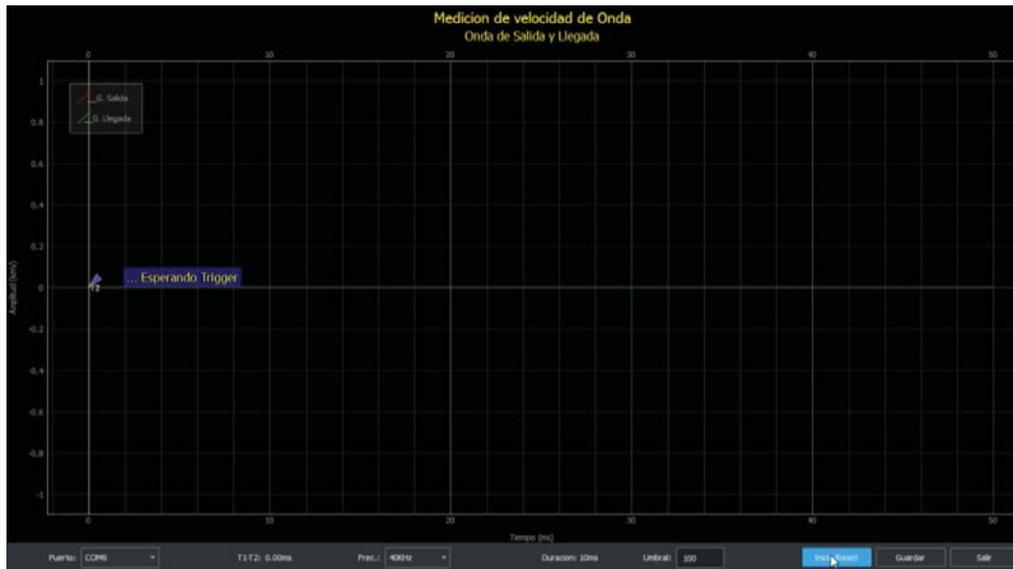


Figura 05.37. Selección del botón de inicio del software.

Fuente: Propia.

El equipo mostrará las ondas registradas por el geófono de salida (emisor) y geófono de llegada (receptor) en color rojo y verde respectivamente.

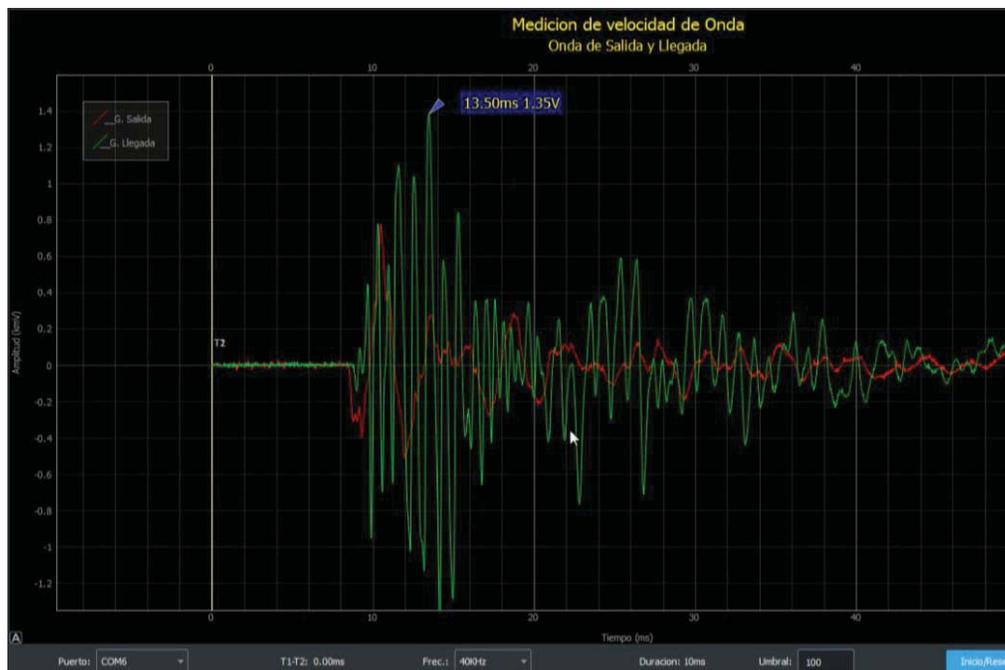


Figura 05.38. Gráfico de ondas registradas por los geófonos.

Fuente: Propia.

A continuación se mueven los cursores T1 y T2 posicionándolos en los puntos donde los geófonos perciben el paso de las ondas. Estos puntos se pueden

identificar visualmente en los primeros sobresaltos de la gráfica donde las ondas comienzan a adquirir una amplitud considerable. En la parte inferior, el software muestra la diferencia de T1 y T2 que viene a ser la variación del tiempo de viaje ΔT y que es necesaria para cálculos posteriores de velocidad de onda.

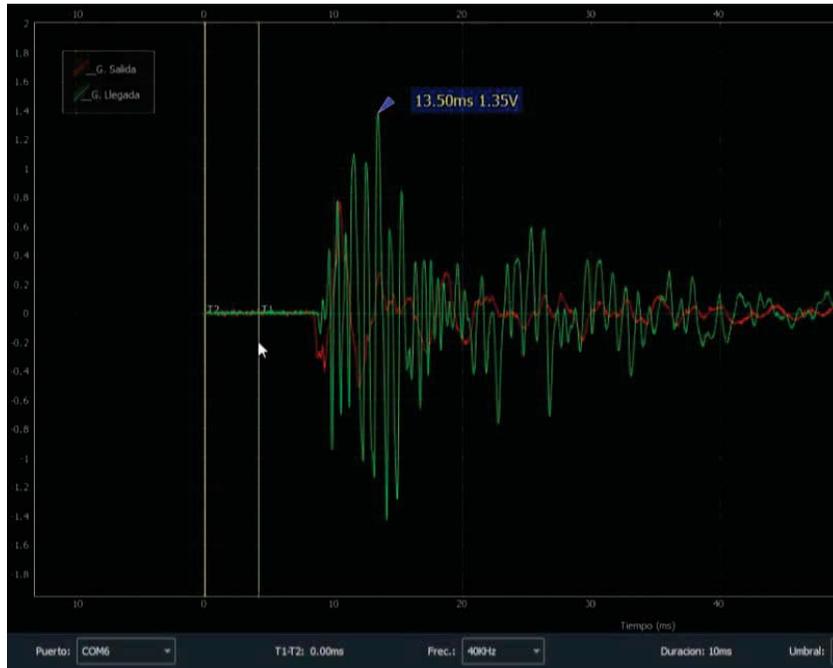


Figura 05.39. Desplazamiento de cursores T1 y T2 para el cálculo de ΔT .

Fuente: Propia.

Para una mejor identificación de estos puntos, se puede reducir y ampliar la gráfica. Esto permite posicionar los cursores T1 y T2 con mayor precisión.

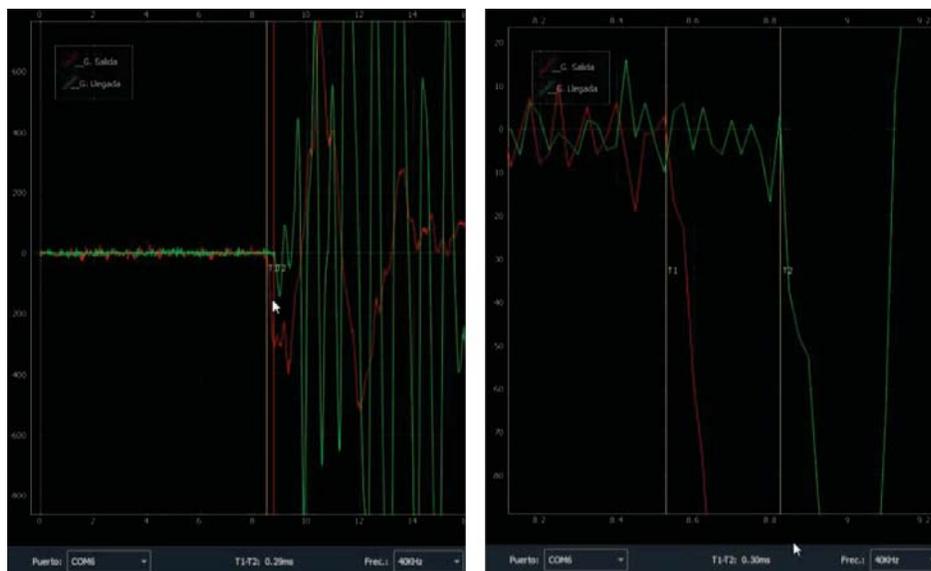


Figura 05.40. Reducción y ampliación de gráfica.

Fuente: Propia.

Finalmente todos los datos registrados son guardados en formatos CSV compatible con Excel.

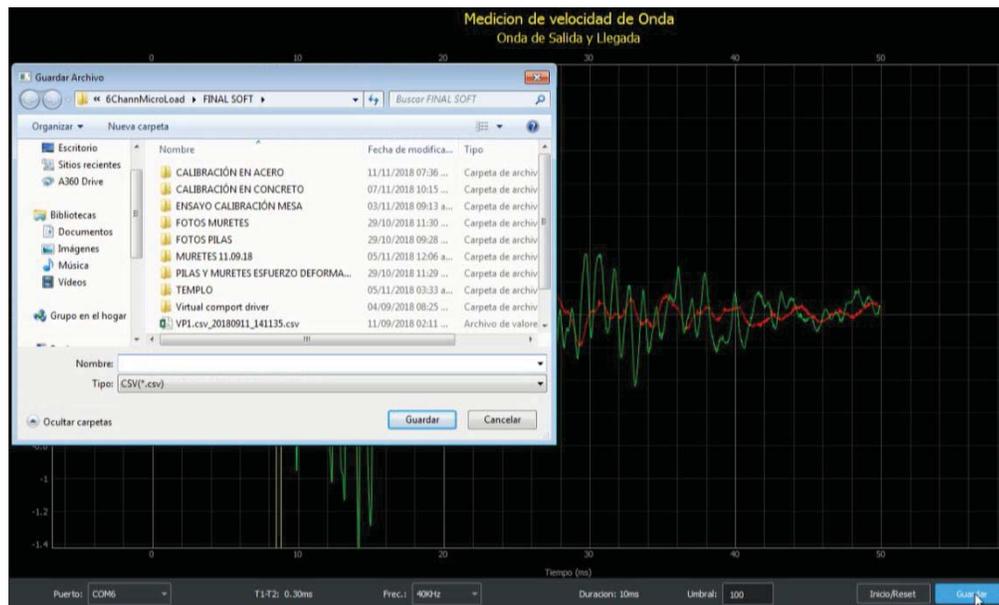


Figura 05.41. Guardado de datos registrados.

Fuente: Propia.

05.04.03. ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES DE ADOBE

05.04.03.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN MURETES DE ADOBE

Teniendo contruidos los muretes se realizó pruebas de propagación de onda para determinar la velocidad a la cual se propagan las ondas en este material. Esta velocidad puede ser V_P si las ondas que se propagan son longitudinales o V_S si las ondas que se propagan son transversales.

Luego se determina el módulo de elasticidad dinámico E_d en función de la velocidad hallada, módulo de Poisson y la densidad de los muretes. Para esto se utilizarán las fórmulas (3) y (4) anteriormente mostradas de donde se despeja E_d .

Durante el proceso constructivo de los muretes se evitó la presencia de irregularidades u otros materiales en el interior, que pudieran alterar su comportamiento y los resultados obtenidos durante los ensayos de propagación. La variación en el espesor de las juntas tanto verticales como horizontales, hizo que los muretes difieran en largo y altura lo cual influirá en el cálculo de la velocidad. En la Tabla 05.11 se especifica las dimensiones de los muretes.

Tabla 05.11. Dimensiones de muretes construidos.

Fuente: propia.

MURETE	ESPESOR "e" (cm)	LARGO "L" (cm)	ALTURA "H" (cm)	ANCHO "A" (cm)
M1	1.00	64.90	61.60	16.00
M2	1.00	64.90	61.00	16.00
M3	1.00	65.00	61.25	16.00
M4	2.00	66.00	66.40	16.00
M5	2.00	65.80	65.90	16.00
M6	2.00	66.10	66.80	16.00
M7	3.00	66.80	70.15	16.00
M8	3.00	67.00	71.00	16.00
M9	3.00	67.00	70.00	16.00

Se pintó de color blanco una de las caras de los muretes para poder cuadricularla mediante el trazado de líneas con ocre color rojo. Tener pintada esta cara también facilitó en identificar las fisuras generadas por los ensayos destructivos lo que se detallará en posteriores capítulos. Se trazó las líneas tanto en sentido horizontal como vertical a distancias de L/4 y H/4 respectivamente, sectorizando la cara del muro en 16 figuras cuadriláteras tal como se ve en la Figura 05.42.

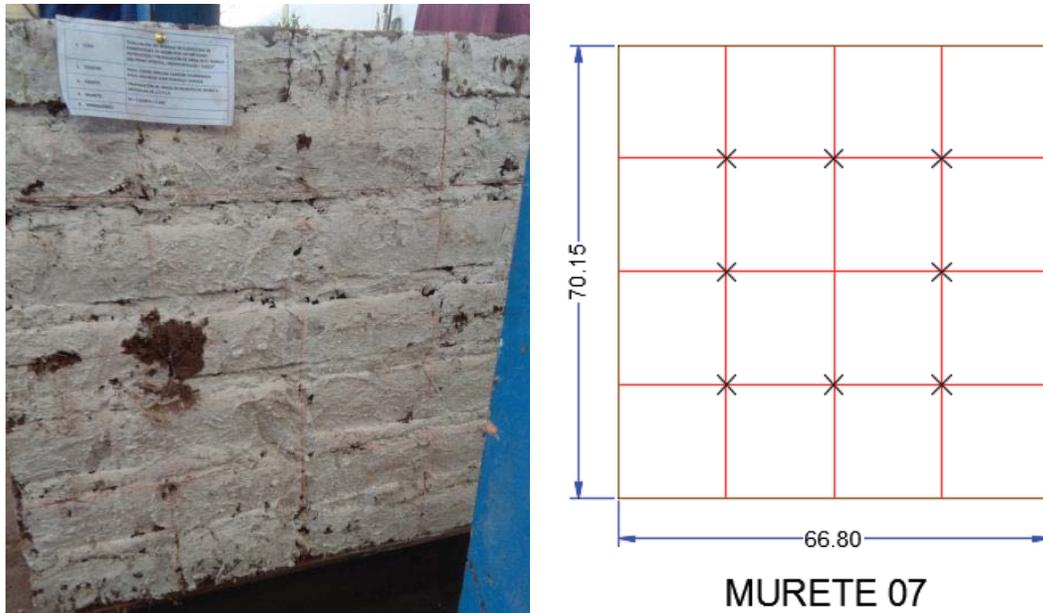


Figura 05.42. Sectorización de cara de murete.

Izquierda: Cara de murete pintada en blanco y sectorizada con tiralínea. Derecha: Representación gráfica de murete sectorizado y con dimensiones. Fuente: propia.

05.04.03.02. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS Y REGISTRO DE DATOS

En la presente investigación se optó por utilizar la configuración indirecta ya que este tipo de configuración permite registrar la propagación de las ondas de compresión P (Saucedo Abanto, 2016) lo que es importante para la presente investigación. Esta configuración se logró colocando los geófonos del equipo en la cara de color blanco del murete con referencia a la línea trazada, tanto en sentido vertical como horizontal.

Para garantizar que los geófonos estuvieran bien adheridos al muro, se colocaron soportes. Los soportes utilizados poseen un clavo central de 2" el cual es introducido en los puntos definidos en el murete con la ayuda de un martillo. Una vez fijados los soportes, se posicionan los geófonos en la base de los mismos verificando su correcta adherencia tal como se observa en la Figura 05.43.

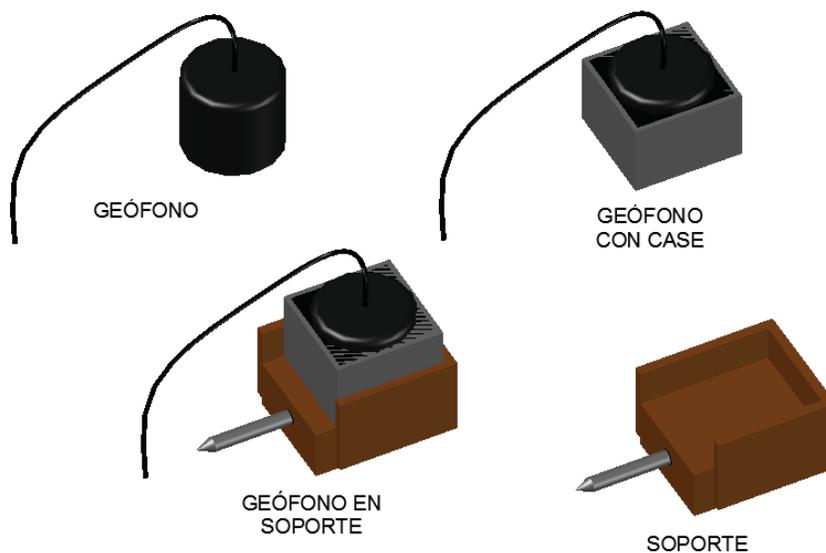


Figura 05.43. Colocación de geófono en soporte.

Fuente: Propia.

Pese a que en la Figura 05.42 se especifica el colocado de los geófonos en los puntos de intersección de la cuadrícula los cuales están señalado con una **X** en color negro, durante el desarrollo del ensayo se tuvo que cambiar la posición de los geófonos los cuales están señalados con una **X** en color rojo en la Figura 05.44, con el fin de evitar que los clavos de los soportes coincidieran con las juntas de los muretes. El mortero de las juntas no presentaba una resistencia óptima al impacto del martillo y el clavo haciendo que los soportes y geófonos no se adhieran correctamente al murete.

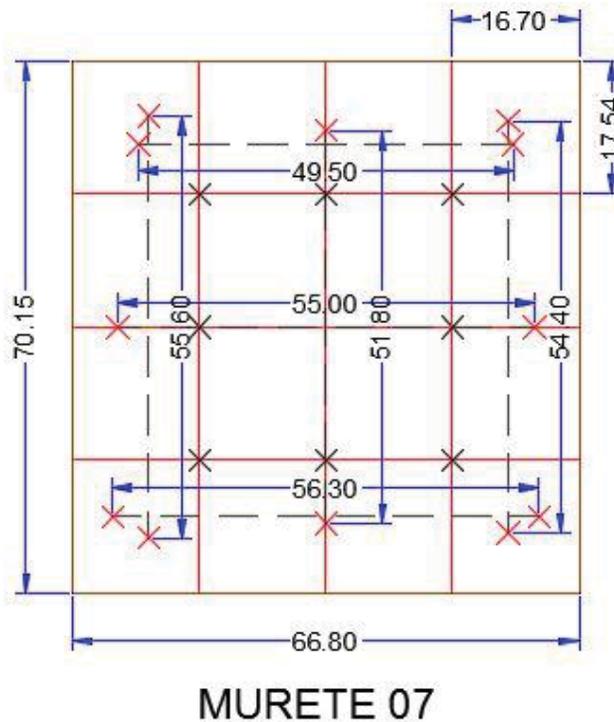


Figura 05.44. Ubicación y espaciamiento entre los geófonos antes y durante la ejecución de los ensayos.

Fuente: propia.

Una vez fijados los geófonos, se activa el disparador del DAQ que espera el primer impacto de la comba de goma para empezar a registrar los datos de las ondas que viajan en el murete y son captadas por los geófonos.

Considerando que estos ensayos son sónicos y se producen a una frecuencia que varía de 16 Hz a 20 KHz, la frecuencia de muestreo del equipo adquireedor de datos fue de 40 KHz. Esto garantiza la recolección de los datos registrados durante el ensayo al encontrarse por encima del rango de frecuencia de un ensayo sónico. Se guardan los datos de tiempo y factores de amplitud para ambos geófonos en formato CSV en la PC para su posterior procesamiento y análisis.

Las líneas trazadas formaron una malla compuesta por 4 filas y 4 columnas seccionando al área total de la cara del murete en 16 espacios de forma cuadrilátera. Las dimensiones de estos 16 cuadriláteros estuvieron condicionadas por la longitud y altura de cada murete. En la Tabla 05.12 se detallan estos espaciamientos para cada unidad de prueba y en la Figura 05.44 se observa un largo de 16.70 cm y una altura de 17.54 cm para los cuadriláteros del murete 07.

Tabla 05.12. Dimensiones de las 16 secciones cuadriláteras.

Fuente: propia.

MURETE	ESPESOR JUNTA e (cm)	LARGO "L" (cm)	ALTURA "H" (cm)	ANCHO "A" (cm)	largo "l" (cm)	altura "h" (cm)
M1	1.00	64.90	61.60	16.00	16.23	15.40
M2	1.00	64.90	61.00	16.00	16.23	15.25
M3	1.00	65.00	61.25	16.00	16.25	15.31
M4	2.00	66.00	66.40	16.00	16.50	16.60
M5	2.00	65.80	65.90	16.00	16.45	16.48
M6	2.00	66.10	66.80	16.00	16.53	16.70
M7	3.00	66.80	70.15	16.00	16.70	17.54
M8	3.00	67.00	71.00	16.00	16.75	17.75
M9	3.00	67.00	70.00	16.00	16.75	17.50

Siguiendo la cuadrícula trazada, se realizaron 3 configuraciones indirectas en dirección vertical a las que se denominaron izquierda, central y derecha, según la posición de la configuración respectivamente; y 3 configuraciones indirectas en dirección horizontal a las que se denominaron superior, media e inferior, según la posición de la configuración respectivamente tal como se observa en la Figura 05.45. Por cada configuración se tomaron 3 registros haciendo un total de 18 registros por murete. Considerando que se construyeron 9 muretes, en total se obtuvo 162 registros con 2000 datos de tiempo y amplitud cada uno. Todo ello a una frecuencia de muestreo de 40 KHz.



Figura 05.45. Configuración empleada para ensayos sónicos.

Izquierda: Configuración indirecta en dirección horizontal posición media.

Derecha: Configuración indirecta en dirección vertical posición central. Fuente: Propia.

Para finalizar con la recolección de datos, se midió la distancia entre los ejes de los geófonos para cada configuración y según el sentido de la misma, tal como se aprecia en la Figura 05.46.



Figura 05.46. Medición de espaciamiento entre geófonos.

Fuente: Propia.

05.04.04. ENSAYOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN LOS MUROS DEL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS

El Templo San Pedro Apóstol está ubicado en el distrito de Andahuaylillas, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco, a no más de 41 Km de la ciudad de Cusco en dirección Sur-Este.

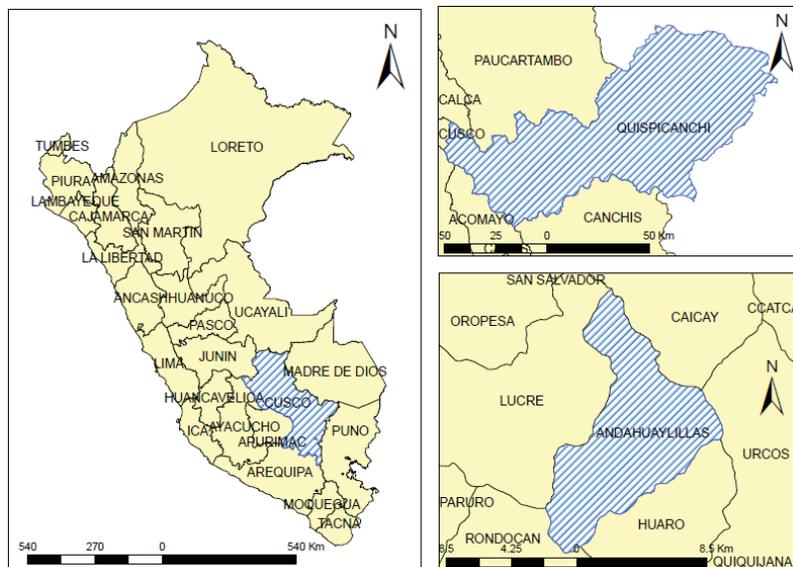
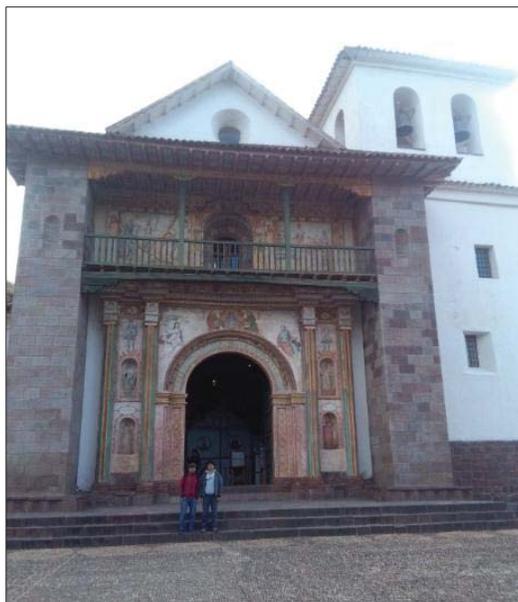


Figura 05.47. Ubicación del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.

Fuente: Parari Huayhua G.

Su construcción data de finales del siglo XVI o inicios del siglo XVII y probablemente fue edificada sobre una construcción Inca debido a los vestigios y material cerámico hallados al realizar excavaciones.

El templo tiene una planta rectangular de 21 m x 61 m abarcando un área de construcción de aproximadamente 1300 m². El templo está dividido en dos sectores que son el presbiterio y la nave central. En el presbiterio se ubica el Arco Triunfal y cuatro capillas laterales: la sacristía, la anti-sacristía, la capilla del Santísimo Sacramento y la capilla del Cristo de la Ascensión. En la nave principal se encuentra el acceso principal al templo, el baptisterio, la torre del campanario y dos capillas laterales. En el segundo nivel de este sector se encuentra el coro cuyo acceso es por la torre del campanario (Vargas Neumann, Aguilar, Gonzales Paliza, & Briceño Melendez, 2013).



*Figura 05.48. Templo San Pedro Apóstol de Andahuayllillas.
Fuente: Propia.*

La cimentación del templo es de mampostería de piedra con mortero de barro con una profundidad de 0.50 m. Los muros del templo son de mampostería de adobe que alcanzan anchos desde 1.20m a 2.00 m. Se observa que los sobrecimientos son de mampostería de piedra y llegan aproximadamente hasta 1.00 m de altura. Los muros de adobe presentan recubrimiento de yeso de espesores variables tanto en la parte exterior como en la parte interior. Para la estructura del arco triunfal se consideró la construcción de pilares con albañilería de piedra y ladrillo de arcilla cocida, siendo el arco una estructura de ladrillo. El techo de la nave fue

construido en madera con el sistema par y nudillo y la cobertura es de teja tradicional de arcilla cocida (Vargas Neumann, Aguilar, Gonzales Paliza, & Briceño Melendez, 2013).

05.04.04.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO EN LAS INSTALACIONES DEL TEMPLO

Estos ensayos de propagación de onda permitirán determinar el módulo de elasticidad dinámico de la mampostería de adobe del templo teniendo como datos la velocidad con que se propagan las ondas P, el módulo de Poisson y la densidad de la mampostería. Posteriormente se determinará el módulo de elasticidad estático para la mampostería de adobe del templo utilizando la correlación resultado de los ensayos de propagación en muretes de adobe y que se analizará en el capítulo siguiente.

Para dar inicio a estos ensayos, se realizó un reconocimiento previo de las instalaciones y ambientes del templo. Se determinaron las zonas donde realizar las pruebas con ayuda del plano que se muestra en la Figura 05.49, donde se observa el plano de distribución del templo en planta. Se programó realizar los ensayos en una visita posterior.

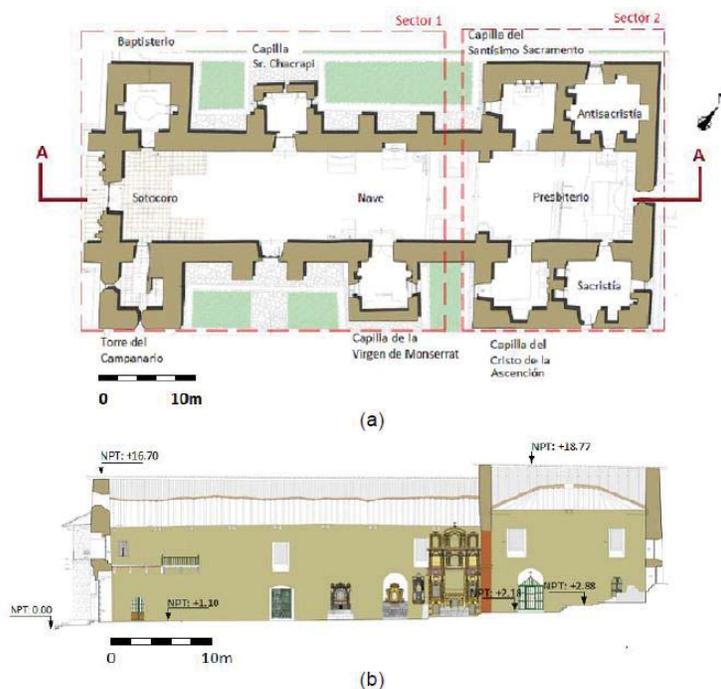


Figura 05.49. Detalles de la arquitectura del Templo San Pedro Apóstol.

(a) plano en planta, (b) corte longitudinal A-A. Fuente: Adaptado de (Vargas Neumann, Aguilar, Gonzales Paliza, & Briceño Melendez, 2013).

Se proyectó realizar 9 ensayos de propagación en dirección vertical y 9 en dirección horizontal en diferentes sectores exteriores del templo tal como se detalla en la Figura 05.51. Dadas las dimensiones de las instalaciones del templo, se abarcó mayores longitudes de espaciamiento entre los geófonos. Para alcanzar mayores alturas fue necesario el uso de una escalera tomando las medidas de seguridad del caso.

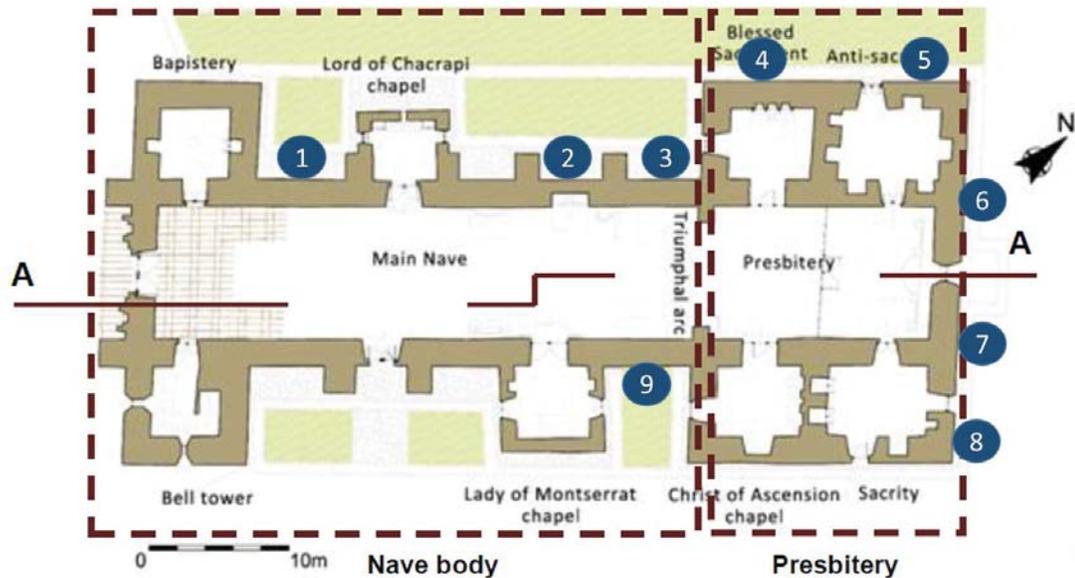


Figura 05.50. Plano del templo en planta con los 9 sectores de ensayo.

Fuente: Adaptado de (Marques, Aguilar, Briceño Melendez, & Perucchio, 2014).

05.04.04.02. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS EN EL TEMPLO Y REGISTRO DE DATOS

Al igual que en los muretes de adobe, el tipo de configuración empleada en el desarrollo de los ensayos de propagación de ondas en el templo, fue la indirecta. Se programó realizar 9 ensayos en dirección vertical y 9 ensayos en dirección horizontal. Por cada ensayo se tomaron 3 registros haciendo un total de 54 registros con 2000 datos de tiempo y amplitud cada uno. Todo ello a una frecuencia de muestreo de 10 KHz, 20 KHz y 40 KHz.

Se colocaron los soportes con los geófonos en los 9 sectores determinados, cambiando su posición según la dirección del ensayo (vertical u horizontal). Una vez adheridos los geófonos, se activó el disparador del DAQ que en respuesta al primer impacto de la comba de goma, empezó a registrar los datos de las ondas que viajan en el muro y son captadas por los geófonos. Acabado el ensayo, se

guardó los datos de tiempo y factores de amplitud para ambos geófonos en formato CSV en la PC para su posterior procesamiento y análisis.

Lo que se busca determinar con estos ensayos es la velocidad con que se propagan las ondas P en los muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas. El cálculo de esta velocidad permitirá calcular el módulo de elasticidad dinámico el cual será comparado con el módulo de elasticidad estático hallado por correlación en el capítulo siguiente.

En la Figura 05.51 se muestra un gráfico de un ensayo en dirección vertical con la aplicación del golpe con la comba en dirección perpendicular a la cara del muro. Este tipo de golpe fue aplicado en todos los ensayos para los 9 sectores del templo.

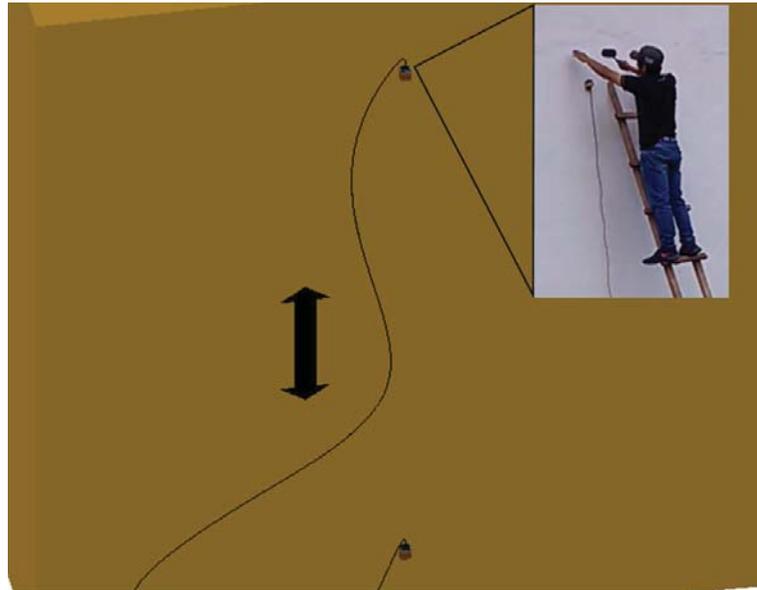


Figura 05.51. Sentido del impacto de la comba en muro del templo.

Fuente: Propia.

En la Figura 05.50 se mostró la ubicación de las 9 zonas de ensayos en las instalaciones del templo. El primer ensayo se realizó en el muro ubicado entre los ambientes del Baptisterio y la Capilla del Sr. Chacra pi tal como se observa en la Figura 05.52. El segundo y tercer ensayo se llevó a cabo entre los contrafuertes que se ubican entre la Capilla del Sr. Chacra pi y la Capilla del Santísimo Sacramento tal como se observa en la Figura 05.53 y Figura 05.54. El cuarto y quinto ensayo fueron realizados en el muro exterior de la Capilla del Santísimo Sacramento y la Antisacristía respectivamente tal como se muestra en la Figura 05.55. Para el sexto y séptimo ensayo, se eligió los muros posteriores del

Presbiterio como se puede apreciar en la Figura 05.56. En la Figura 05.57, se observa el desarrollo del octavo ensayo el cual se llevó a cabo en el muro posterior de la Sacristía. Finalmente en la Figura 05.58 se muestra el desarrollo del noveno ensayo para el cual se determinó usar el muro ubicado entre la Capilla de la Virgen de Monserrat y la Capilla del Cristo de la Ascensión.



Figura 05.52. Ensayo en dirección vertical en el sector 01 del templo.

Fuente: Propia.



Figura 05.53. Ensayo en dirección horizontal en el sector 02 del templo.

Fuente: Propia.



Figura 05.54. Ensayo en dirección vertical en el sector 03 del templo.

Fuente: Propia.



Figura 05.55. Ensayos en el sector 04 del templo.

Izquierda: Ensayo en dirección vertical. Derecha: Ensayo en dirección horizontal. Fuente: Propia.



Figura 05.56. Ensayo en dirección horizontal en el sector 07 del templo.

Fuente: Propia.



Figura 05.57. Ensayo en dirección horizontal en el sector 08 del templo.

Fuente: Propia.



Figura 05.58. Ensayos en el sector 09 del templo.

Izquierda: Ensayo en dirección vertical. Derecha: Ensayo en dirección horizontal. Fuente: Propia.

Para finalizar con la recolección de datos, al terminar cada ensayo se midió la distancia entre los ejes de los geófonos para cada configuración y según el sentido de la misma.

05.04.05. PROCESAMIENTO Y CÁLCULO DE DATOS

05.04.05.01. ANÁLISIS DEL TIPO DE ONDA REGISTRADA

Se utilizó la configuración indirecta para los ensayos de propagación de onda en muretes y en los muros del templo. En los muretes, el impacto de la comba de goma fue en forma perpendicular a su espesor tanto en dirección vertical como horizontal. En los muros del templo el impacto de la comba de goma fue en forma perpendicular a la cara del muro tanto en dirección vertical como horizontal. Este impacto solo generó la vibración de las partículas del material más no la vibración de los muretes ni los muros. Esto, debido al peso y volumen considerable de los especímenes y sectores de ensayo comparado con la masa del instrumento con que se generó el impacto.

Se comprobó tanto en muretes como en un muro del templo, que el sentido del golpe ya sea en forma perpendicular al espesor o perpendicular a la cara del murete o muro, no influye en los resultados de paso de onda pero sí influye la intensidad del golpe suministrado. Para controlar esto, se adquirió adiestramiento en la aplicación del golpe de manera que en todos los ensayos se procuró aplicar un golpe de similar magnitud.

Por otra parte, se verificó que los geófonos utilizados y el DAQ registran datos solo cuando estos sensores se encuentran en posición vertical tal como se observa en la Figura 05.59. Por esta razón, para todos los ensayos los geófonos estuvieron en posición vertical ya sea en dirección vertical u horizontal.

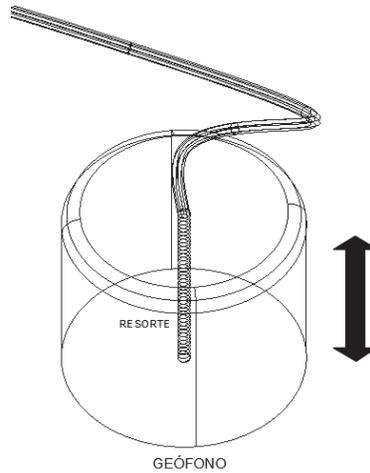


Figura 05.59. Geófono posicionado verticalmente.

Fuente: Propia.

Otro aspecto analizado fue la adherencia de los soportes al muro con el clavo de 2". El clavo oscila en dirección vertical por la masa propia del geófono. Esto influye en la dirección del ensayo y en la identificación del tipo de onda registrada tal como se observa en la Figura 05.60.

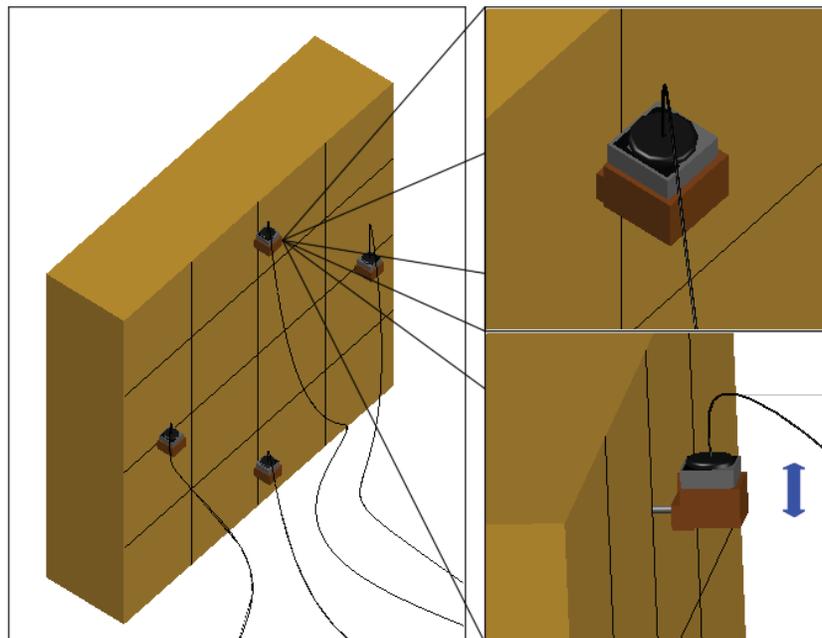


Figura 05.60. Geófono adherido al murete con soporte y clavo.

Fuente: Propia.

Se tuvo en cuenta estos aspectos para determinar el tipo de onda registrada durante los ensayos de propagación. Cuando el ensayo se realiza en dirección vertical, las ondas registradas son de compresión o longitudinales ya que las partículas del material se desplazan a lo largo de la dirección de propagación de la onda y además; el funcionamiento y posición del geófono están a favor de la dirección del ensayo. Cuando el ensayo se realiza en dirección horizontal, las ondas registradas son de corte ya que las partículas del material se desplazan transversalmente a la dirección de propagación de la onda; además el funcionamiento y posición del geófono están en contra a la dirección del ensayo.

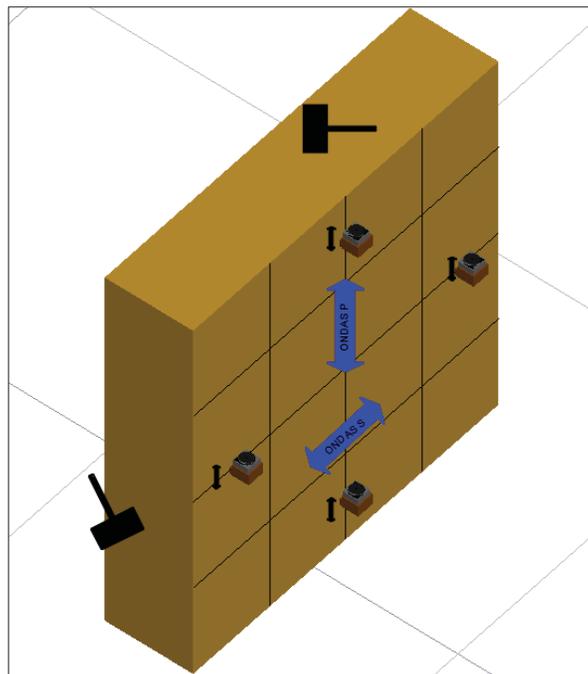


Figura 05.61. Dirección de propagación de las ondas P y S.

Fuente: Propia.

05.04.05.02. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CON MATLAB

Para el procesamiento de datos se utilizó el Software MATLAB R2014a. Se realizó el lenguaje de programación respectivo para cada una de las pruebas realizadas tanto para los ensayos de propagación de ondas en muretes como para los ensayos de propagación de ondas en los muros del templo. El equipo Registrador de Datos para la Medición de Velocidad de Onda, guarda los datos registrados en formato CVS en el computador. Se registra el tiempo de duración del ensayo y factores de velocidad tanto para las ondas de salida como para las ondas de llegada tal como se observa en la Figura 05.62.

t(ms)	G_Salida(mv)	G_Ulegada(mv)
0	14	1
0.025	7	-3
0.05	0	23
0.075	-8	-4
0.1	2	1
0.125	13	6
0.15	1	-20
0.175	6	6
0.2	-6	18
0.225	-5	3
0.25	11	3
0.275	3	4
0.3	-1	2
0.325	7	18
0.35	-2	7
0.375	-7	2
0.4	2	5
0.425	5	0
0.45	-3	5

Figura 05.62. Registro de datos en formato CSV con $f_s = 40$ KHz.

Fuente: Propia.

Para que el programa reconozca el lenguaje de programación empleado fue necesario separar los datos registrados tanto para la onda de salida como para la onda de llegada en hojas de cálculo Excel. La frecuencia de muestreo debe ser registrada en el programa así como el tiempo que duró el ensayo tal como se ve en la Figura 05.63.

```

10 - ylabel('AMPLITUD');
11 - title('SEÑAL DE PROPAGACIÓN VIGA 03 03 10');
12
13
14 - %
15 - fs=10000;
16 - t=0:1/10:200-1/10;
17 - figure(2);
18 - plot(t,salida,'k',t,llegada,'r');
19 - legend('SEÑAL DE SALIDA','SEÑAL DE LLEGADA');
20 - grid;
21 - xlabel('TIEMPO [ms]');
22 - ylabel('AMPLITUD');
23 - title('SEÑAL DE PROPAGACIÓN VIGA 03 03 10');
24
25 - %
26 - salidasinDC=salida-mean(salida);
27 - llegadasinDC=llegada-mean(llegada);
28 - fs=10000;
29 - t=0:1/10:200-1/10;
30 - figure(3);
31 - plot(t,salidasinDC,'k',t,llegadasinDC,'r');
32 - legend('SEÑAL DE SALIDA','SEÑAL DE LLEGADA');
33 - grid;
34 - xlabel('TIEMPO [ms]');
35 - ylabel('AMPLITUD');
36 - title('SEÑALES SIN DC');

```

Figura 05.63. Lenguaje de programación en MATLAB R2014a.

Fuente: Propia.

Por cada programación, el programa grafica 4 figuras con ayuda del comando “plot”. La primera figura que nos arroja el programa es la gráfica de la cantidad de datos registradas versus la amplitud de las ondas tal como se observa en la Figura 05.64. La segunda figura en MATLAB, que se observa en la Figura 05.65, muestra la gráfica del tiempo de duración de la prueba en ms versus la amplitud que es básicamente lo que se pretendía graficar para así obtener el instante más preciso posible en el cual llegan las ondas tanto de salida como de llegada.

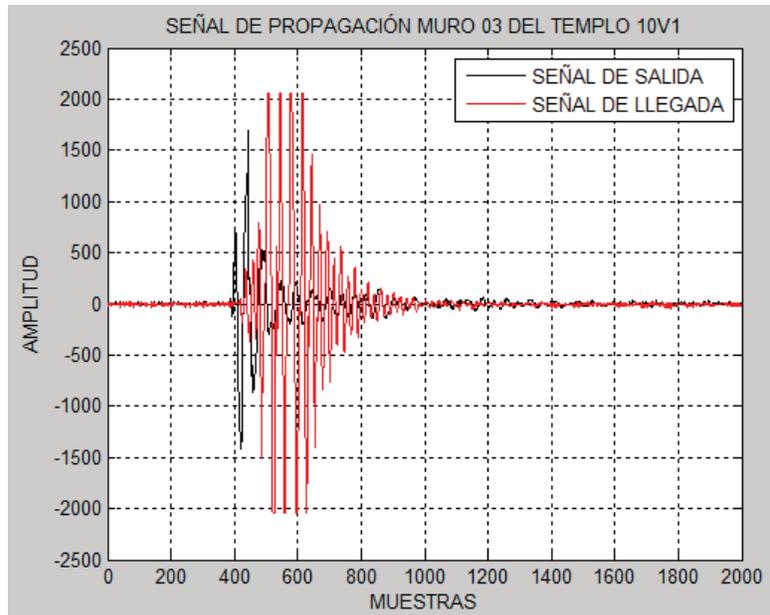


Figura 05.64. Gráfica de la cantidad de datos versus la amplitud en MATLAB.
Fuente: Propia.

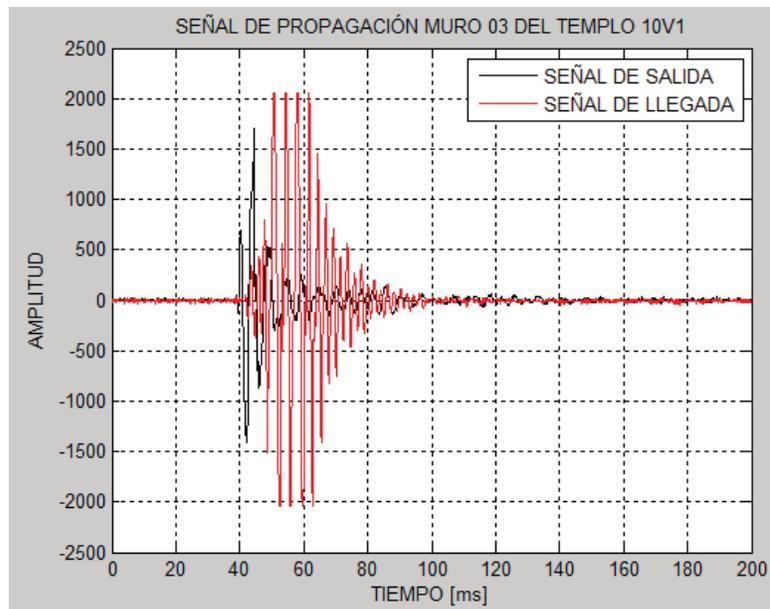


Figura 05.65. Gráfica del tiempo (ms) versus amplitud en MATLAB.
Fuente: Propia.

La tercera figura que nos brinda MATLAB, la cual se observa en la Figura 05.66, viene a ser la gráfica del tiempo en ms versus la amplitud de la señal sin la interferencia de alguna corriente continua (DC). La diferencia con la segunda figura antes mencionada está en que en esta gráfica ya no se considera la corriente continua y señales de interferencia que pudieran existir pese a que el equipo posee filtros de señal que anulan las interferencias que se pudieron presentar en el medio donde se desarrolló el ensayo.

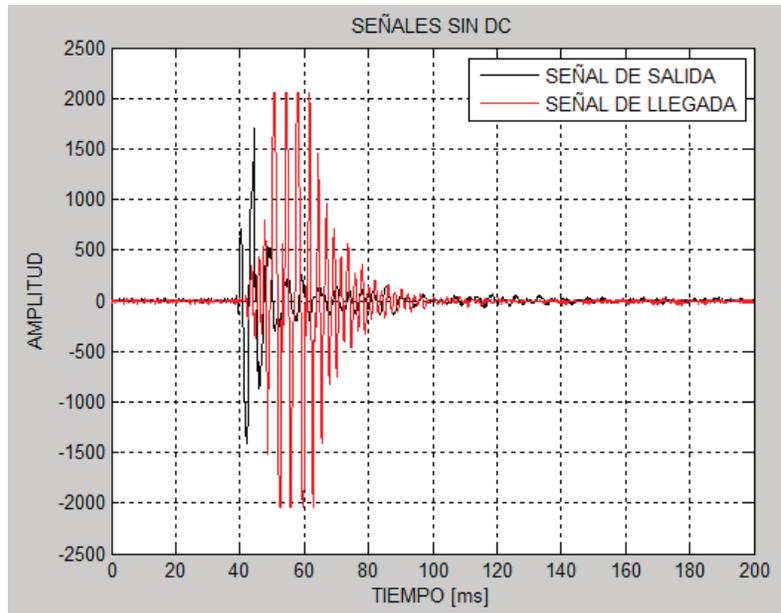


Figura 05.66. Gráfica del tiempo (ms) versus amplitud sin DC en MATLAB.
Fuente: Propia.

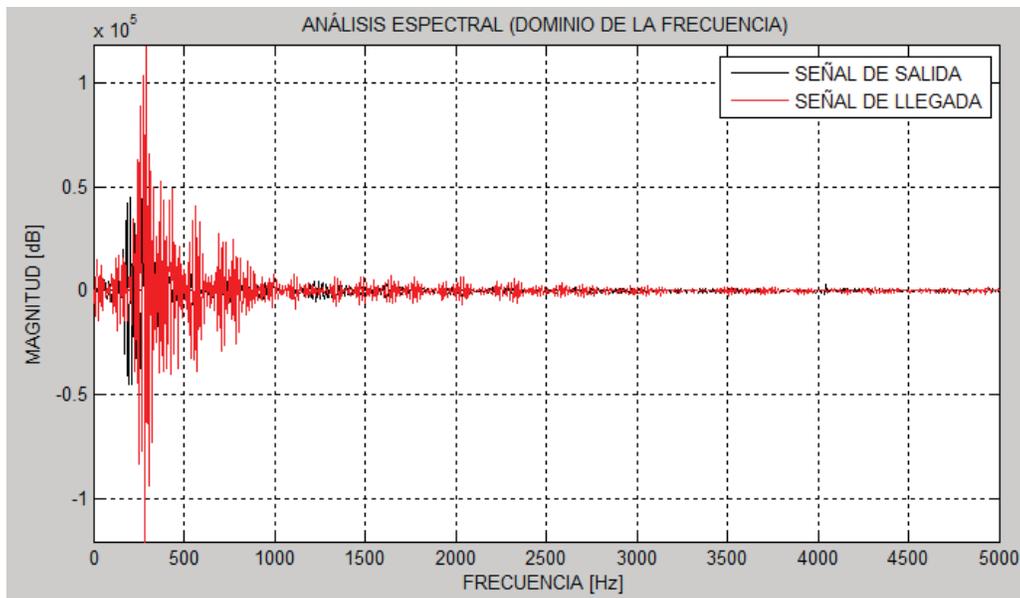


Figura 05.67. Gráfica de la frecuencia (Hz) versus magnitud en MATLAB.
Fuente: Propia.

La cuarta figura que arroja el programa, es la gráfica de análisis espectral que está determinada por los ejes de frecuencia (Hz) versus la magnitud. Este tipo de gráficas es más conocida como la Transformada de Fourier FFT y que consiste en graficar las señales en base a una combinación de senos y cosenos y es muy útil para el análisis de frecuencias. Esta gráfica se puede observar en la Figura 05.67.

Similar al software del DAQ, Registrador de Datos para la Medición de Velocidad de Onda, la elección de los puntos de salida y llegada de las ondas se realiza de manera visual. La diferencia radica en que el MATLAB posee comandos que permiten identificar estos puntos con mayor precisión y esa es la razón del uso de este programa.

Para la identificación y elección de estos puntos, se hará uso de la segunda gráfica que nos muestra MATLAB. Se puede ampliar y reducir la imagen para mejorar la visualización. Se ha dividido a la gráfica en dos zonas, una zona de reposo en la cual el viaje de la onda aún no ha sido captada por los geófonos y la zona de registro de datos en la que el viaje de la onda es captada por los geófonos tal como se observa en la Figura 05.68.

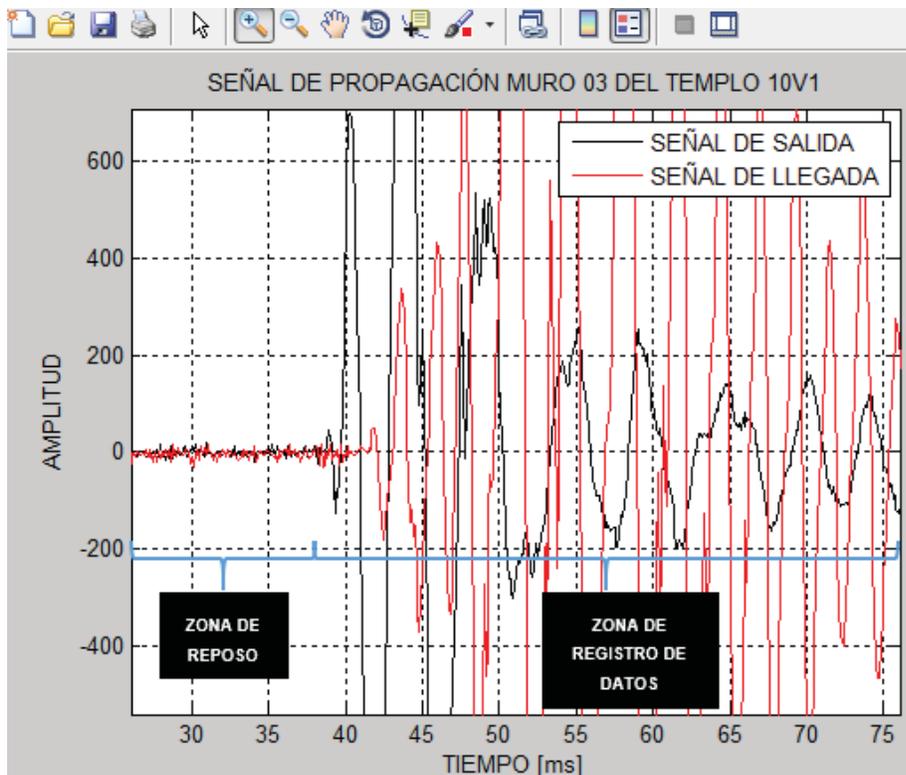


Figura 05.68. Zona de reposo y zona de registro de datos.

Fuente: Propia.

Los puntos de salida y llegada se encuentran al inicio de la zona de registro de datos. Estos puntos se pueden identificar visualmente en los primeros sobresaltos de la gráfica donde las ondas comienzan a adquirir una amplitud considerable lo cual se observa en la Figura 05.69.

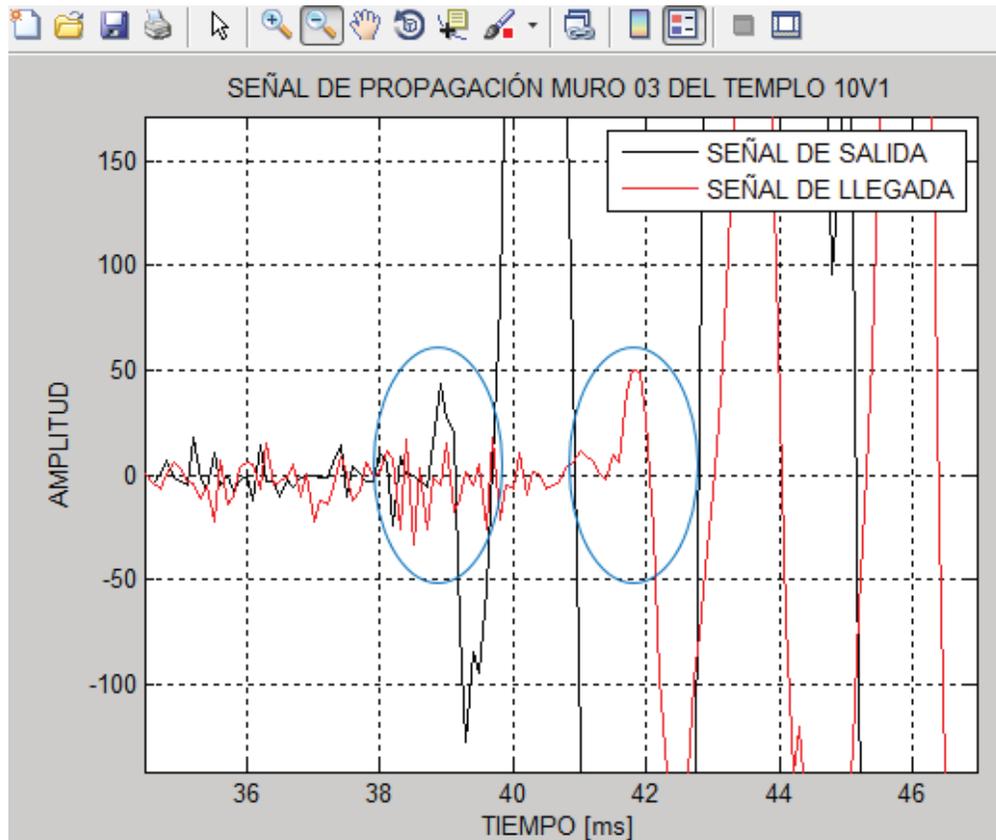


Figura 05.69. Puntos de salida y llegada.

Fuente: Propia.

Se sigue ampliando la gráfica hasta visualizar los puntos de salida y llegada. Una vez identificados, se seleccionan los puntos haciendo uso de la herramienta data cursor de MATLAB la cual muestra las coordenadas de la posición donde se ubica el mouse. En el eje de las abscisas se registra el tiempo en ms. En la Figura 05.70 se observa que para la onda de salida en color negro, se registra un tiempo “T1” de 38.73 ms y para la onda de llegada en color rojo, se registra un tiempo “T2” de 41.42 ms.

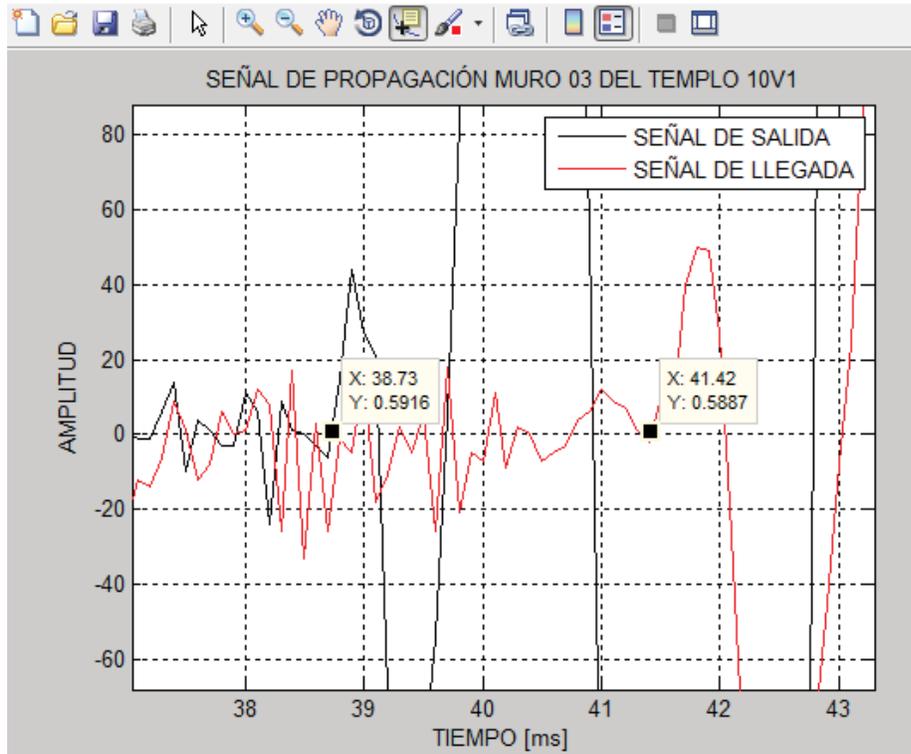


Figura 05.70. Punto de salida y llegada de la onda.

Fuente: Propia.

Identificados los tiempos T_1 y T_2 , se procede a calcular la diferencia entre ambos puntos lo que será denominado como ΔT en ms. Para el ejemplo trabajado hasta el momento ΔT es igual a 2.69 ms.

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad \dots (12)$$

Teniendo ΔT y la distancia entre los geófonos, se puede hallar la velocidad de propagación de la onda P en el material haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{\Delta T} \quad \dots (13)$$

Donde:

V: Velocidad en (m/s).

d: Distancia entre los geófonos (m).

ΔT : Diferencia de tiempos de salida y llegada (s).

Los resultados de los ensayos de propagación de onda y el procesamiento de datos en MATLAB se pueden observar en el Anexo A para los muretes y Anexo B para los muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas respectivamente.

05.04.05.03. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN MURETES

Haciendo uso de la fórmula 13, se obtuvo las velocidades en los muretes de adobe. Se realizó un análisis estadístico de los resultados utilizando medidas de dispersión como son la media aritmética o promedio (\bar{X}), desviación estándar (α) y el coeficiente de variabilidad (CV) que está dado por la relación entre la desviación estándar del conjunto de datos y su media aritmética y generalmente es expresado en porcentaje.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SEGÚN EL ESPESOR DE JUNTAS

El propósito de mostrar las velocidades según el espesor de las juntas de los muretes es observar y analizar su comportamiento según el crecimiento del espesor de la junta para la calidad del mortero utilizado con un porcentaje de paja igual a 1.50%. Se han realizado los cálculos conservando la posición de los geófonos según la dirección de propagación.

En las Tablas 05.13 y 05.14 se muestra las velocidades registradas para los muretes con espesor de junta igual a 1.00 cm. En dirección vertical se registró una velocidad mínima de 218.03 m/s y una velocidad máxima de 366.29 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 261.19 m/s (CV=16.41%) y una velocidad máxima de 334.86 m/s (CV=8.94%). En dirección horizontal se registró una velocidad mínima de 265.09 m/s y una velocidad máxima de 704.22 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 358.58 m/s (CV=44.93%) y una velocidad máxima de 504.63 m/s (CV=34.86%).

Tabla 05.13. Velocidad en dirección vertical en muretes, $e=1.00\text{cm}$.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)		
		POSICIÓN IZQUIERDA	POSICIÓN CENTRAL	POSICIÓN DERECHA
M1	1.00	261.80	331.64	240.34
M2	1.00	303.73	306.66	303.49
M3	1.00	218.03	366.29	344.19
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{X}	261.19	334.86	296.01
	α	42.85	29.94	52.33
	CV	16.41%	8.94%	17.68%

Tabla 05.14. Velocidad en dirección horizontal en muretes, e=1.00cm.
Fuente: Propia.

MURETE	ESPELOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)		
		POSICIÓN SUPERIOR	POSICIÓN MEDIA	POSICIÓN INFERIOR
M1	1.00	298.78	266.02	704.22
M2	1.00	360.08	544.62	437.60
M3	1.00	537.15	265.09	372.07
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{X}	398.67	358.58	504.63
	α	123.78	161.12	175.93
	CV	31.05%	44.93%	34.86%

Las velocidades registradas para los muretes con espesor de junta igual a 2.00 cm se muestran en las Tablas 05.15 y 05.16. En dirección vertical se registró una velocidad mínima de 211.11 m/s y una velocidad máxima de 335.40 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 246.70 m/s (CV=18.16%) y una velocidad máxima de 294.57 m/s (CV=9.94%). En dirección horizontal se registró una velocidad mínima de 276.67 m/s y una velocidad máxima de 478.15 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 337.22 m/s (CV=18.35%) y una velocidad máxima de 392.56 m/s (CV=17.57%).

Tabla 05.15. Velocidad en dirección vertical en muretes, e=2.00cm.
Fuente: Propia.

MURETE	ESPELOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)		
		POSICIÓN IZQUIERDA	POSICIÓN CENTRAL	POSICIÓN DERECHA
M4	2.00	297.01	322.24	290.99
M5	2.00	211.11	297.58	335.40
M6	2.00	231.98	263.89	237.36
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{X}	246.70	294.57	287.91
	α	44.80	29.29	49.09
	CV	18.16%	9.94%	17.05%

Tabla 05.16. Velocidad en dirección horizontal en muretes, e=2.00cm.
Fuente: Propia.

MURETE	ESPELOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)		
		POSICIÓN SUPERIOR	POSICIÓN MEDIA	POSICIÓN INFERIOR
M4	2.00	291.68	408.06	366.58
M5	2.00	478.15	293.63	470.76
M6	2.00	276.67	309.97	340.35
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{X}	348.83	337.22	392.56
	α	112.24	61.89	68.98
	CV	32.18%	18.35%	17.57%

Las velocidades registradas para los muretes con espesor de junta igual a 3.00 cm se muestran en las Tablas 05.17 y 05.18. En dirección vertical se registró una velocidad mínima de 232.96 m/s y una velocidad máxima de 292.25 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 247.76 m/s (CV=3.62%) y una velocidad máxima de 266.68 m/s (CV=8.47%). En dirección horizontal se registró una velocidad mínima de 238.73 m/s y una velocidad máxima de 437.93 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 250.77 m/s (CV=5.56%) y una velocidad máxima de 414.28 m/s (CV=7.52%).

Tabla 05.17. Velocidad en dirección vertical en muretes, $e=3.00\text{cm}$.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)		
		POSICIÓN IZQUIERDA	POSICIÓN CENTRAL	POSICIÓN DERECHA
M7	3.00	243.90	249.47	237.42
M8	3.00	279.50	292.25	252.52
M9	3.00	232.96	258.33	253.34
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{x}	252.12	266.68	247.76
	α	24.34	22.58	8.97
	CV	9.65%	8.47%	3.62%

Tabla 05.18. Velocidad en dirección horizontal en muretes, $e=3.00\text{cm}$.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)		
		POSICIÓN SUPERIOR	POSICIÓN MEDIA	POSICIÓN INFERIOR
M7	3.00	299.05	437.93	247.54
M8	3.00	260.32	379.00	266.06
M9	3.00	329.12	425.92	238.73
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{x}	296.16	414.28	250.77
	α	34.49	31.14	13.95
	CV	11.65%	7.52%	5.56%

Para observar el comportamiento de las velocidades en función del espesor de las juntas, se calculó los promedios por espesor conservando la posición de los geófonos según la dirección de propagación. Estos cálculos se observan en las siguientes tablas.

Tabla 05.19. Velocidad en dirección vertical en muretes según espesor de junta.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)		
		POSICIÓN IZQUIERDA	POSICIÓN CENTRAL	POSICIÓN DERECHA
M1	1.00	261.80	331.64	240.34
M2	1.00	303.73	306.66	303.49
M3	1.00	218.03	366.29	344.19
	\bar{x}	261.19	334.86	296.01
	\bar{x}	297.35		
M4	2.00	297.01	322.24	290.99
M5	2.00	211.11	297.58	335.40
M6	2.00	231.98	263.89	237.36
	\bar{x}	246.70	294.57	287.91
	\bar{x}	276.39		
M7	3.00	243.90	249.47	237.42
M8	3.00	279.50	292.25	252.52
M9	3.00	232.96	258.33	253.34
	\bar{x}	252.12	266.68	247.76
	\bar{x}	255.52		
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{x}	253.34	298.70	277.23
	α	33.90	38.04	42.52
	CV	13.38%	12.74%	15.34%

Tabla 05.20. Velocidad en dirección horizontal en muretes según espesor de junta.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR DE JUNTA (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)		
		POSICIÓN SUPERIOR	POSICIÓN MEDIA	POSICIÓN INFERIOR
M1	1.00	298.78	266.02	704.22
M2	1.00	360.08	544.62	437.60
M3	1.00	537.15	265.09	372.07
	\bar{x}	398.67	358.58	504.63
	\bar{x}	420.62		
M4	2.00	291.68	408.06	366.58
M5	2.00	478.15	293.63	470.76
M6	2.00	276.67	309.97	340.35
	\bar{x}	348.83	337.22	392.56
	\bar{x}	359.54		
M7	3.00	299.05	437.93	247.54
M8	3.00	260.32	379.00	266.06
M9	3.00	329.12	425.92	238.73
	\bar{x}	296.16	414.28	250.77
	\bar{x}	320.41		
MEDIDAS DE DISPERSIÓN	\bar{x}	347.89	370.03	382.66
	α	96.17	94.22	145.31
	CV	27.64%	25.46%	37.97%

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SEGÚN LA DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN

Todos los ensayos se realizaron considerando dos direcciones de propagación y tres posiciones para los sensores sísmicos. Se hace un análisis de estas direcciones de propagación para evaluar su influencia en el resultado de las velocidades considerando las variaciones en el espesor de las juntas.

Las velocidades registradas para los muretes según la dirección de propagación se observan en las Tablas 05.21 y 05.22. En dirección vertical se registró una velocidad mínima de 211.11 m/s y una velocidad máxima de 366.29 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 243.59 m/s (CV=2.48%) y una velocidad máxima de 309.50 m/s (CV=25.84%). En dirección horizontal se registró una velocidad mínima de 238.73 m/s y una velocidad máxima de 704.22 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 301.79 m/s (CV=22.18%) y una velocidad máxima de 447.43 m/s (CV=20.71%).

Tabla 05.21. Velocidad de propagación por murete en dirección vertical.
Fuente: Propia.

MURETE	e (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)			\bar{X} (m/s)	α	CV	\bar{X} por "e" (m/s)
		POSICIÓN IZQUIERDA	POSICIÓN CENTRAL	POSICIÓN DERECHA				
M1	1.00	261.80	331.64	240.34	277.93	47.74	17.18%	297.35
M2	1.00	303.73	306.66	303.49	304.63	1.77	0.58%	
M3	1.00	218.03	366.29	344.19	309.50	79.98	25.84%	
M4	2.00	297.01	322.24	290.99	303.41	16.58	5.47%	276.39
M5	2.00	211.11	297.58	335.40	281.36	63.71	22.64%	
M6	2.00	231.98	263.89	237.36	244.41	17.08	6.99%	
M7	3.00	243.90	249.47	237.42	243.59	6.03	2.48%	255.52
M8	3.00	279.50	292.25	252.52	274.76	20.29	7.38%	
M9	3.00	232.96	258.33	253.34	248.21	13.44	5.41%	

Tabla 05.22. Velocidad de propagación por murete en dirección horizontal.
Fuente: Propia.

MURETE	e (cm)	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)			\bar{X} (m/s)	α	CV	\bar{X} por "e" (m/s)
		POSICIÓN SUPERIOR	POSICIÓN MEDIA	POSICIÓN INFERIOR				
M1	1.00	298.78	266.02	704.22	423.00	244.09	57.70%	420.62
M2	1.00	360.08	544.62	437.60	447.43	92.67	20.71%	
M3	1.00	537.15	265.09	372.07	391.44	137.06	35.01%	
M4	2.00	291.68	408.06	366.58	355.44	58.99	16.60%	359.54
M5	2.00	478.15	293.63	470.76	414.18	104.46	25.22%	
M6	2.00	276.67	309.97	340.35	308.99	31.85	10.31%	
M7	3.00	299.05	437.93	247.54	328.17	98.48	30.01%	320.41
M8	3.00	260.32	379.00	266.06	301.79	66.92	22.18%	
M9	3.00	329.12	425.92	238.73	331.26	93.61	28.26%	

05.04.05.04. MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO EN MURETES

Una vez obtenida la velocidad en m/s, se procede al cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d de los muretes. El módulo de elasticidad dinámico está en función del tipo de velocidad registrada según la dirección de propagación. Teniendo en cuenta que las ondas P y S atraviesan un sólido elástico isotrópico, es posible establecer una relación de la velocidad con el módulo de elasticidad dinámico, densidad y módulo de Poisson (Saucedo Abanto, 2016). En base a las fórmulas 3 y 4 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$E_d = \frac{\rho V_P^2 (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad \dots (14)$$

$$E_d = 2\rho V_S^2 (1 + \mu) \quad \dots (15)$$

Donde:

E_d : Módulo de elasticidad dinámico (N/m²).

V_P : Velocidad de ondas P en (m/s).

V_S : Velocidad de ondas S en (m/s).

ρ : Densidad del material (Kg/m³).

μ : Módulo de Poisson (adimensional).

Para determinar el Módulo de Poisson en mampostería de adobe, se hizo una revisión de bibliografía de donde se obtiene un promedio de $\mu = 0.20$.

Tabla 05.23. Valores para el Módulo de Poisson.
Fuente: Otros.

AUTORES	μ
Saucedo Abanto Cristian Germán (PUCP)	0.16
Montesinos Escobar Mijail (PUCP)	0.20
Delgado Salvador Canales Ericka Flor (PUCP)	0.25
Mamani Quispe Roosevelt Euclides (UNSAAC)	0.20
Serrano Zuta José Luis (UNSAAC)	0.20
PROMEDIO	0.20

Para continuar con los cálculos y resultados del módulo de elasticidad dinámico de los muretes de adobe, se tomó en cuenta el análisis realizado en el ítem 05.04.05.01 sobre el tipo de onda registrada. Considerando el tipo de

configuración empleada para los ensayos, el funcionamiento de los geófonos solo en posición vertical, la forma de vibración de las partículas del material y la influencia de los soportes en el sentido de la propagación de la onda, se definió el tipo de velocidad hallada en los ensayos. En los ensayos en dirección vertical se produce ondas longitudinales, por lo que la velocidad corresponde a las ondas P mientras que en los ensayos en dirección horizontal se producen ondas transversales por lo que la velocidad corresponde a las ondas S, esto también se aplica a los ensayos de propagación de onda en los muros del templo.

De la Tabla 05.21 de velocidad de propagación en dirección vertical, se observa que de las 3 posiciones ejecutadas en los ensayos, la posición central muestra velocidades mayores en comparación a la posición izquierda y posición derecha con excepción del murete 05. Se considera que los valores de velocidad en la posición central son más representativos que el promedio de las tres posiciones para el cálculo del módulo de elasticidad dinámico.

En la Tabla 05.24 se observa la velocidad de ondas P de la posición central y reemplazando los valores respectivos en la fórmula 14, se obtienen el módulo de elasticidad dinámico para cada murete los cuales se muestran en la misma tabla.

Tabla 05.24. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d para los muretes.

Fuente: Propia.

MURETE	V_p (m/s)	DENSIDAD " ρ " (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON " μ "	E_d (N/m ²)	E_d (MPa)
M1	331.64	1535.20	0.20	151966145	151.97
M2	306.66	1581.09	0.20	133820362	133.82
M3	366.29	1559.18	0.20	188268981	188.27
M4	322.24	1716.24	0.20	160393743	160.39
M5	297.58	1698.20	0.20	135342443	135.34
M6	263.89	1729.14	0.20	108370091	108.37
M7	249.47	1835.11	0.20	102786411	102.79
M8	292.25	1862.91	0.20	143199770	143.20
M9	258.33	1836.75	0.20	110313351	110.31

El cálculo del módulo de elasticidad dinámico en función de la velocidad de ondas S, densidad y módulo de Poisson (fórmula 15) se puede observar en el Anexo C de cálculo de módulo de elasticidad según el tipo de velocidad registrada. En esta

parte de la tesis no se considera la velocidad de onda S debido a que el módulo de elasticidad dinámico obtenido con esta velocidad, excede los valores esperados y no concuerda con la bibliografía revisada. Esto se debe a que el funcionamiento de los geófonos es en posición vertical y no en horizontal lo cual desnaturalizó los datos registrados.

05.04.05.05. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN EN LOS MUROS DEL TEMPLO

A diferencia de los cálculos de velocidad de propagación en muretes, para los muros del templo no se consideró el espesor de las juntas por lo que se obviaré este criterio de análisis. La clasificación que se puede identificar es en base a la variación de la frecuencia de muestreo f_s que fue de 10, 20 y 40 KHz y en base a la dirección de propagación vertical u horizontal. Se realizó un análisis estadístico de los resultados utilizando medidas de dispersión como son la media aritmética o promedio (\bar{X}), desviación estándar (α) y el coeficiente de variabilidad (CV) que está dado por la relación entre la desviación estándar del conjunto de datos y su media aritmética y generalmente es expresado en porcentaje.

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SEGÚN LA FRECUENCIA DE MUESTREO

En las Tablas 05.25 y 05.26 se muestran las velocidades con variaciones de frecuencia. En dirección vertical para una $f_s=10\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 422.33 m/s y una velocidad máxima de 856.26 m/s, para una $f_s=20\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 414.26 m/s y una velocidad máxima de 988.49 m/s, para una $f_s=40\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 458.78 m/s y una velocidad máxima de 707.55 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 578.34 m/s (CV=13.79%) y una velocidad máxima de 653.14 m/s (CV=29.07%). En dirección horizontal para una $f_s=10\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 292.41 m/s y una velocidad máxima de 500.88 m/s, para una $f_s=20\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 141.08 m/s y una velocidad máxima de 557.05 m/s, para una $f_s=40\text{KHz}$ se registró una velocidad mínima de 249.93 m/s y una velocidad máxima de 703.13 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 348.14 m/s (CV=31.96%) y una velocidad máxima de 407.88 m/s (CV=31.83%).

Tabla 05.25. Velocidades con variación de f_s en dirección vertical.
Fuente: Propia.

SECTOR	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)		
	$f_s = 10$ KHz	$f_s = 20$ KHz	$f_s = 40$ KHz
01	477.26	575.67	619.69
02	422.33	414.26	458.78
03	693.88	552.32	545.04
04	704.86	502.13	462.22
05	789.32	731.11	591.60
06	567.51	655.98	581.05
07	654.75	905.53	624.14
08	856.26	988.49	707.55
09	507.36	552.80	615.03
\bar{X}	630.39	653.14	578.34
α	146.75	189.85	79.78
CV	23.28%	29.07%	13.79%

Tabla 05.26. Velocidades con variación de f_s en dirección horizontal.
Fuente: Propia.

SECTOR	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)		
	$f_s = 10$ KHz	$f_s = 20$ KHz	$f_s = 40$ KHz
01	442.82	261.47	703.13
02	500.88	557.05	516.51
03	379.20	321.09	345.42
04	380.09	363.83	359.46
05	432.94	398.13	379.99
06	408.35	354.35	375.35
07	365.86	387.14	366.29
08	377.33	349.09	374.85
09	292.41	141.08	249.93
\bar{X}	397.77	348.14	407.88
α	58.31	111.28	129.82
CV	14.66%	31.96%	31.83%

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SEGÚN LA DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN

Los ensayos se realizaron en dirección vertical y horizontal en los 9 sectores del templo. En dirección vertical se registró una velocidad mínima de 414.26 m/s y una velocidad máxima de 988.49 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 431.79 m/s (CV=5.49%) y una velocidad máxima de 850.77 m/s (CV=16.52%). En dirección horizontal se registró una velocidad mínima de 141.08

m/s y una velocidad máxima de 703.13 m/s. En promedio se obtuvo una velocidad mínima de 227.80 m/s (CV=34.26%) y una velocidad máxima de 524.81 m/s (CV=5.52%).

Tabla 05.27. Velocidades de propagación en dirección vertical en el templo.
Fuente: Propia.

SECTOR	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN VERTICAL (m/s)			\bar{X} (m/s)	α	CV
	$f_s = 10$ KHz	$f_s = 20$ KHz	$f_s = 40$ KHz			
01	477.26	575.67	619.69	557.54	72.93	13.08%
02	422.33	414.26	458.78	431.79	23.72	5.49%
03	693.88	552.32	545.04	597.08	83.91	14.05%
04	704.86	502.13	462.22	556.40	130.11	23.38%
05	789.32	731.11	591.60	704.01	101.61	14.43%
06	567.51	655.98	581.05	601.51	47.65	7.92%
07	654.75	905.53	624.14	728.14	154.38	21.20%
08	856.26	988.49	707.55	850.77	140.55	16.52%
09	507.36	552.80	615.03	558.40	54.05	9.68%

Tabla 05.28. Velocidades de propagación en dirección horizontal en el templo.
Fuente: Propia.

SECTOR	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN HORIZONTAL (m/s)			\bar{X} (m/s)	α	CV
	$f_s = 10$ KHz	$f_s = 20$ KHz	$f_s = 40$ KHz			
01	442.82	261.47	703.13	469.14	222.00	47.32%
02	500.88	557.05	516.51	524.81	28.99	5.52%
03	379.20	321.09	345.42	348.57	29.19	8.37%
04	380.09	363.83	359.46	367.79	10.87	2.96%
05	432.94	398.13	379.99	403.69	26.91	6.67%
06	408.35	354.35	375.35	379.35	27.22	7.18%
07	365.86	387.14	366.29	373.10	12.16	3.26%
08	377.33	349.09	374.85	367.09	15.64	4.26%
09	292.41	141.08	249.93	227.80	78.05	34.26%

05.04.05.06. MÓDULO DE ELASTICIDAD EN MUROS DEL TEMPLO

Obtenidas las velocidades en m/s, se procede al cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d de los muros del templo el cual está en función del tipo de velocidad registrada según la dirección de propagación, la densidad y el módulo de Poisson.

Similar a los muretes, se analizó el tipo de velocidad hallada en los ensayos en base al tipo de onda registrada, el tipo de configuración empleada para los ensayos, el funcionamiento de los geófonos solo en posición vertical, la forma de vibración de las partículas del material y la influencia de los soportes en el sentido de la propagación de la onda.

De la Tabla 05.27 de velocidad de propagación en dirección vertical, se considera que para el cálculo del módulo de elasticidad dinámico los valores de velocidad para una frecuencia de muestreo de 40 KHz son más representativos que el promedio de las tres frecuencias de muestreo empleadas. Esto teniendo en cuenta que para un ensayo sónico la frecuencia se encuentra en un rango de 16 Hz a 20 KHz por lo que la frecuencia del equipo de medición debe ser más precisa que las ondas que se están midiendo.

En la Tabla 05.29 se observa la velocidad de ondas P para una f_s igual a 40 KHz y reemplazando los valores respectivos en la fórmula 14, se obtienen el módulo de elasticidad dinámico para cada muro del templo los cuales se muestran en la misma tabla.

Se utilizó para los cálculos una densidad de 1705.98 Kg/m^3 que es la densidad promedio de los muretes y un módulo de Poisson de 0.20 según revisión bibliográfica.

Tabla 05.29. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico E_d para los muros del templo.

Fuente: Propia.

SECTOR	V_p (m/s)	DENSIDAD " ρ " (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON " μ "	E_d (N/m ²)	E_d (MPa)
01	619.69	1705.98	0.20	589620140.63	589.62
02	458.78	1705.98	0.20	323160396.41	323.16
03	545.04	1705.98	0.20	456115060.28	456.12
04	462.22	1705.98	0.20	328031621.78	328.03
05	591.60	1705.98	0.20	537375846.46	537.38
06	581.05	1705.98	0.20	518369189.33	518.37
07	624.14	1705.98	0.20	598118446.87	598.12
08	707.55	1705.98	0.20	768649050.03	768.65
09	615.03	1705.98	0.20	580778938.44	580.78

En esta parte de la tesis no se considera V_s debido a que el módulo de elasticidad dinámico obtenido, excede los valores esperados y no concuerda con la bibliografía revisada. Esto se debe a que el funcionamiento de los geófonos es en posición vertical y no en horizontal lo cual desnaturalizó los datos registrados. El cálculo del módulo de elasticidad dinámico en función de V_s , densidad y módulo de Poisson (fórmula 15) se observa en el Anexo D.

05.05. ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN PILAS Y MURETES

El presente ítem desarrolla los ensayos para la obtención del módulo de elasticidad de la mampostería de adobe, se realizaron ensayos de compresión simple tanto en pilas y muretes ya que para el presente proyecto de investigación el principal objetivo es el estudio del módulo de elasticidad en mampostería de adobe por ende se priorizaron los ensayos de compresión en ambos casos (pilas y muretes), además de la unidad de adobe.

05.05.01. EQUIPO UTILIZADO PARA LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

CARACTERÍSTICA Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco existe una prensa hidráulica de compresión de funcionamiento mecánico cuyo registro de datos de esfuerzo y deformación se realiza manualmente. Para el desarrollo de los ensayos de compresión axial se utilizó un equipo elaborado para la presente tesis con el fin de obtener datos automatizados y precisos. Este equipo es un sistema DAQ (dispositivo adquisidor de datos) que fue bautizado con el nombre de **“Registrador de Datos - Indicadores Digitales y Galga Extensiométrica (Celda de Carga)”**. Este equipo es acondicionado a la prensa hidráulica junto con la celda de carga y los indicadores de deformación.

Las características del dispositivo DAQ y el equipo son las siguientes:

- Consta de seis canales de entrada de indicadores de deformación digitales Mitutoyo 6X y un canal de entrada de celda de carga 1X.
- La resolución está dada por la resolución propia de los indicadores de deformación digitales: (0.01mm) y de la celda de carga: 0.005% del rango máximo (Ej. 1Kg para una celda de 20Ton.)
- Posee una velocidad de adquisición de datos de 2 muestras por segundo (recogidos simultáneamente de todos los canales).
- La alimentación y consumo de energía es a través del puerto USB (100mA a 5V, 0.5W)
- El software empleado en Python, es compatible con los sistemas Windows, Mac, GNU-Linux.

- Para la comunicación con la PC dispone de puerto USB, los datos pueden ser visualizados en tiempo real y guardados en formato CSV (Similar a Excel).

FUNCIONAMIENTO Y REGISTRO DE DATOS EN INDICADORES Y CELDA DE CARGA

Los indicadores de deformación cuentan con un puerto de comunicación para automatizar las lecturas. Para facilitar la conexión con el indicador de deformación, se utiliza un cable específico, que se muestra a continuación:



Figura 05.71. Indicador de deformación y cable específico de conexión.

Fuente: Web.

El cable de datos, hace posible el acceso a los pines de comunicación desde otro circuito, los pines o conectores de salida accesibles por los cables son los siguientes:

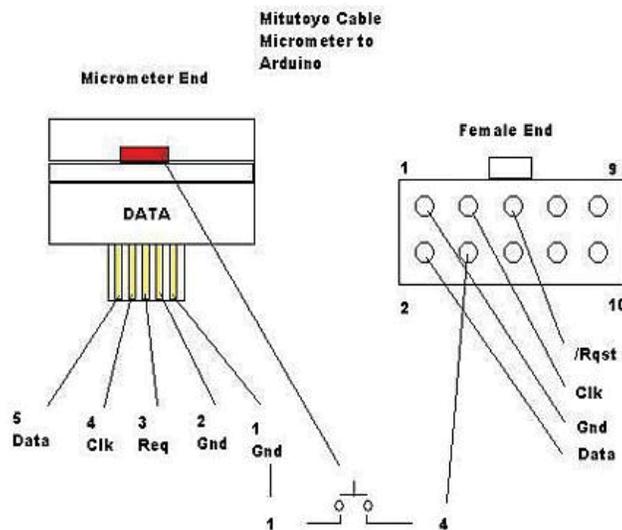


Figura 05.72. Conector de salida para los indicadores de deformación.

Fuente: Web.

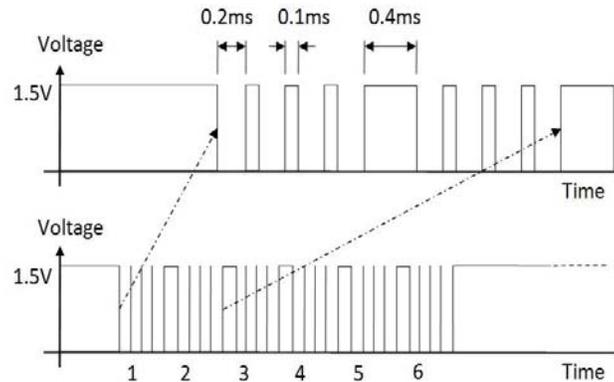


Figura 05.73. Análisis de pulsos eléctricos.
Fuente: Web.

Analizando los pulsos eléctricos de los pines DATA y CLK, se observó lo siguiente:

- 1,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 0.00 mm).
- 1,0,0,0, 1,0,1,1, 1,1,1,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 10.00mm).
- 1,0,0,1, 0,0,1,1, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,1,0,0, (la pantalla muestra - 1.00mm).
- 1,0,0,0, 1,1,0,0, 1,0,1,0, 1,1,1,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 150.00mm).

Luego se desarrolló un algoritmo que permitiera calcular el valor mostrado en la pantalla, basándose en los “bits” recibidos en las tramas de comunicación.

Las entradas (6X) para los cables de lectura de los indicadores de deformación Mitutoyo son del tipo Terminal SPC 10.



Figura 05.74. Terminal SPC 10 para entrada de indicadores.
Fuente: Web.

La entrada (1X) para la celda de carga es del tipo bloque terminal de 4 pines tipo tornillo.



Figura 05.75. Bloque terminal de 4 pines.

Fuente: Web.

Para la medición de la fuerza aplicada sobre una muestra, el equipo diseñado cuenta con una celda de carga que consiste en un transductor piezoeléctrico. Este tipo de sensor también es utilizado en las balanzas electrónicas y el principio de funcionamiento es el siguiente:

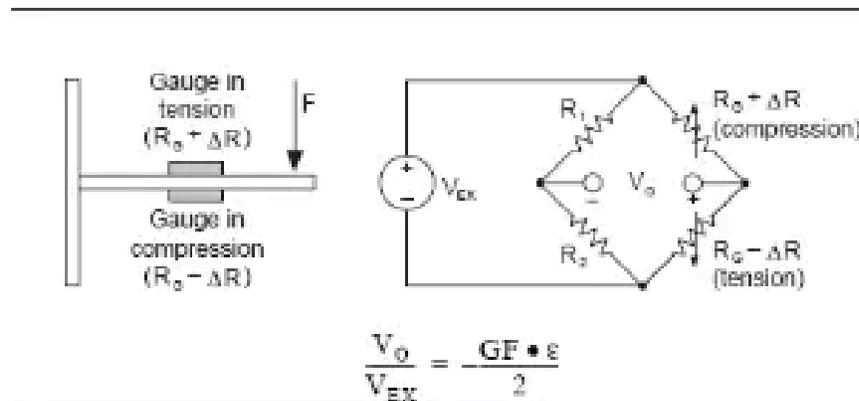


Figura 05.76. Principio de funcionamiento de la celda de carga.

Fuente: Propia.

En su interior la celda de carga tiene lo que se denomina como puente de Thomson, que consiste en 4 resistencias, un par de ellas de valor fijo y las otras de valor variable en función al esfuerzo ejercido sobre el dispositivo. Para medir el esfuerzo es necesario aplicar un potencial eléctrico en dos terminales denominados de alimentación, de esta forma se obtendrá un potencial proporcional al esfuerzo en los terminales de salida del dispositivo.

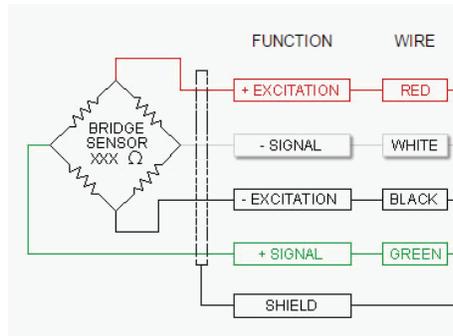


Figura 05.77. Terminal característico de una celda de carga.

Fuente: Web.

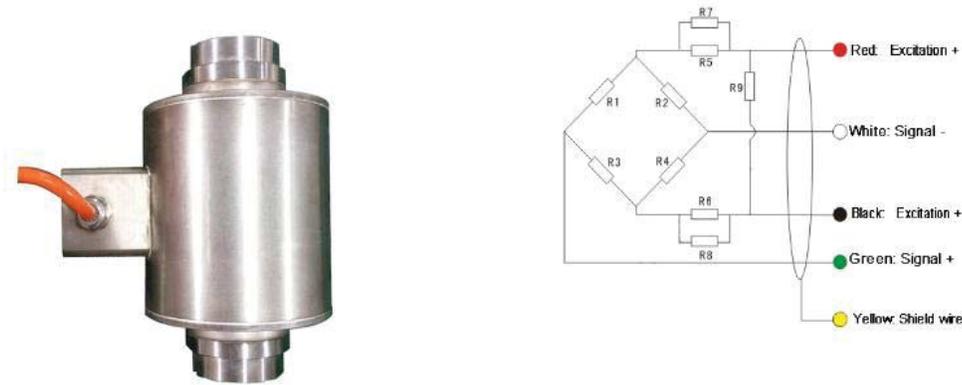


Figura 05.78. Aspecto físico de una celda de carga y terminales de salida.

Fuente: Web.

Dado que el rango de medición que se puede lograr con este sensor es bastante amplio (rango de 0 Kg hasta 20 toneladas), se decidió utilizar un dispositivo electrónico específico, capaz de medir tensiones positivas y negativas, con una resolución de 24 Bits.

El circuito utilizado HX711 convierte la señal de salida analógica de la celda de carga a una señal digital. Este dato digitalizado puede ser leído por un microcontrolador que a su vez permite que la información sea procesada y mostrada.

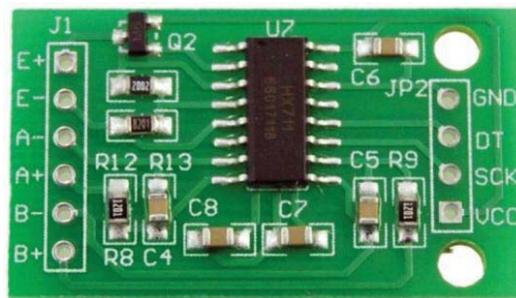


Figura 05.79. HX711, circuito integrado convertidor de señal analógica a digital.

Fuente: Propia.


```

void setup() {
  // initialize digital pin PB1 as an output.
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("...start");

  Timer2.setChannelMode(TIMER_OUTPUTCOMPARE);
  Timer2.setPeriod(250000); // in microseconds
  Timer2.setCompare1(1); // overflow might be small
  Timer2.attachCompare1Interrupt(callback);

  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(req1, OUTPUT);pinMode(clk1, INPUT_PULLUP);pinMode
  pinMode(req2, OUTPUT);pinMode(clk2, INPUT_PULLUP);pinMode
  pinMode(req3, OUTPUT);pinMode(clk3, INPUT_PULLUP);pinMode
  pinMode(req4, OUTPUT);pinMode(clk4, INPUT_PULLUP);pinMode
  pinMode(req5, OUTPUT);pinMode(clk5, INPUT_PULLUP);pinMode
  pinMode(req6, OUTPUT);pinMode(clk6, INPUT_PULLUP);pinMode

  attachInterrupt(clk1, pulse1, FALLING);
}

```

Figura 05.82. Segmento del código realizado con STM32Duino.

Fuente: Propia.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS COMPLEMENTARIOS

Para completar la investigación se realizaron ensayos de caracterización física y mecánica del material y de la unidad de adobe, para lo cual se utilizaron equipos e instrumentos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Además, se utilizaron instrumentos de medición, control de niveles, aplomado y herramientas necesarias para controlar el proceso constructivo de las pilas y muretes como son flexómetro de 5.00 m (wincha de mano), nivel de mano, plomada, tiralíneas, cordel, etc. Se debe fijar en la línea de control de la cara de falla del espécimen, topes de madera o fierro que sirven para hacer contacto con el vástago o aguja del indicador de deformación. Los brazos de sujeción y desplazamiento de los indicadores estarán fijados a una armadura transportable.



Figura 05.83. Equipo e instrumentos para ensayo de compresión axial.

Fuente: Propia.

05.05.02. FUNCIONAMIENTO Y USO DEL SOFTWARE DEL EQUIPO

Una vez realizada la instrumentación del ensayo, conectados los cables de los indicadores a sus entradas; conectada la celda de carga a su respectiva entrada y acoplada a la gata hidráulica de la prensa, se abre la ventana principal del software. Antes de iniciar con el registro de datos, se selecciona el botón tare para poner las lecturas de los indicadores y la celda de carga en cero.



Figura 05.84. Ventana principal del software de compresión axial.
Fuente: Propia.

Luego se selecciona en botón de inicio para empezar a registrar la carga aplicada, las deformaciones y el tiempo de duración del ensayo.

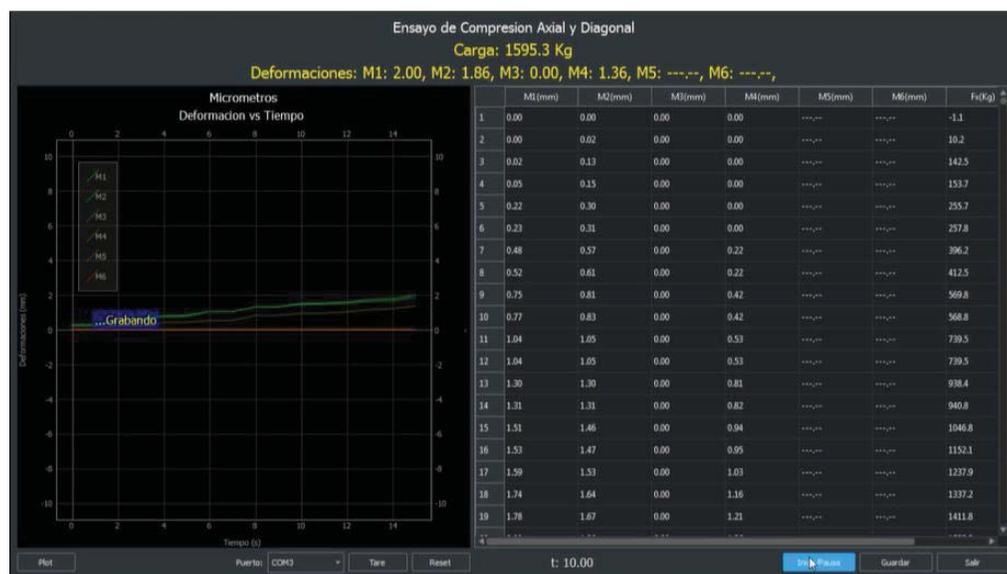


Figura 05.85. Registro de datos de ensayo de compresión axial en software.
Fuente: Propia.

Acabado el ensayo, se coloca pause y se procede a guardar los datos registrados en formato CSV similar al Excel.

05.05.03. ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE

05.05.03.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Las pilas fueron ensayadas a compresión uniaxial. Para realizar estos ensayos se utilizó una prensa que consta de una gata a la cual se le acopló una celda de carga de 20 Tn la cual permitió registrar el esfuerzo aplicado. Para medir las deformaciones, se utilizó un indicador con 12.7 mm de deformación máxima. Este fue colocado en la línea de control de la pila que fue la línea vertical trazada por el eje de la pila. Tanto la celda de carga como el indicador estuvieron conectados a un DAQ. En la Fig. 05.86 se observa la pila instrumentada con los indicadores fijados mediante brazos a la armadura e instalada en la prensa con la celda de carga y el DAQ construido para la presente investigación.

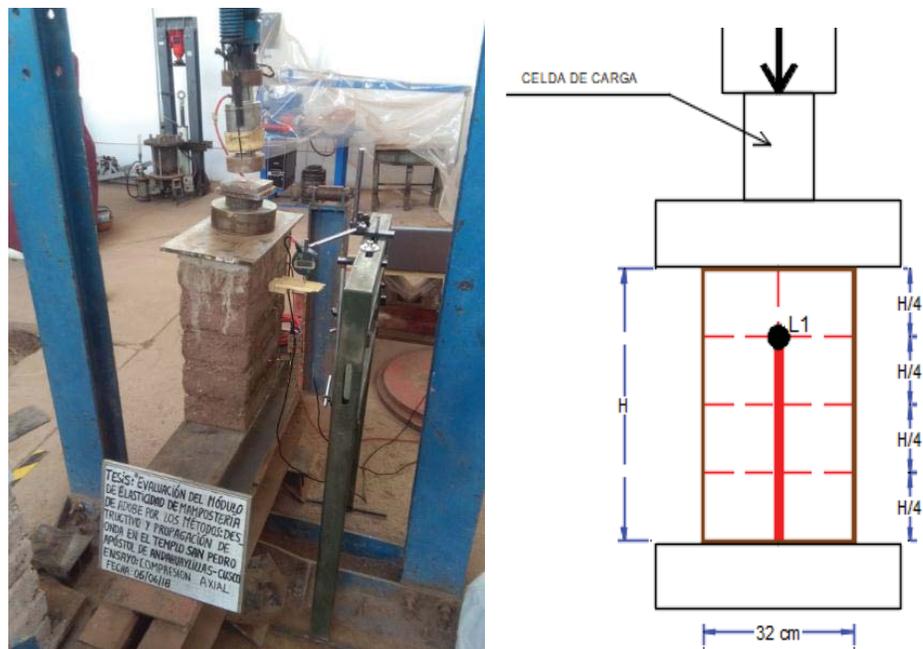


Figura 05.86. Instrumentación de pila con indicadores y celda de carga.

Fuente: Propia.

Como se mencionó, las pilas fueron construidas con variaciones en el espesor de las juntas. Esto hizo que la ubicación de los indicadores en el eje de la pila variará en función de su altura. El indicador se colocó a $3/4H$ de la base de la pila. En la Tabla 05.30 se puede ver la altura a la cual fue colocado el indicador según la altura “H”.

Tabla 05.30. Ubicación de los indicadores según la altura de la pila.

Fuente: Propia.

PILA	ESPESOR "e" (cm)	ALTURA (cm)	POSICIÓN INDICADOR 3/4*H (cm)
P1	3.00	47.90	35.93
P2	3.00	48.50	36.38
P3	3.00	48.40	36.30
P4	2.00	45.50	34.13
P5	2.00	46.00	34.50
P6	2.00	45.50	34.13
P7	1.00	43.50	32.63
P8	1.00	43.40	32.55
P9	1.00	43.50	32.63

La aplicación de la carga se realizó accionando la gata hasta generar la rotura en el espécimen. Previo a la ejecución del ensayo se realizaron las mediciones de las pilas y se calculó el área de la sección transversal de cada pila tal como se puede ver en la Tabla 05.31.

Tabla 05.31. Dimensiones de las pilas antes del ensayo.

Fuente: Propia.

PILA	ESPESOR "e" (cm)	LARGO "L" (cm)	ALTURA "H" (cm)	ANCHO "A" (cm)	ÁREA (cm ²)
P1	3.00	32.00	47.90	16.00	512.00
P2	3.00	32.00	48.50	16.00	512.00
P3	3.00	32.00	48.40	16.00	512.00
P4	2.00	32.00	45.50	16.00	512.00
P5	2.00	32.00	46.00	16.00	512.00
P6	2.00	32.00	45.50	16.00	512.00
P7	1.00	32.00	43.50	16.00	512.00
P8	1.00	32.00	43.40	16.00	512.00
P9	1.00	32.00	43.50	16.00	512.00

05.05.03.02. RESULTADOS DEL ENSAYO

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA MÁXIMA

La resistencia a la compresión σ se obtuvo dividiendo la máxima carga registrada durante el ensayo entre el área de la sección trasversal del espécimen en este caso de la pila de adobe.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots (16)$$

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA PROMEDIO

La resistencia promedio se obtuvo de la curva esfuerzo deformación en el punto en el que el material alcanzó su límite elástico, se caracteriza por mantenerse constante ante el incremento de deformación. Este fenómeno se observa en la parte post pico final de la curva esfuerzo-deformación tal como se puede apreciar en la Figura 05.87. Para su estimación se utilizaron los datos de carga y deformación suministrados por el ensayo de compresión uniaxial.

CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Según (Gómez Bermudo, 2016) “El módulo de elasticidad, o módulo de Young, se define como la pendiente asociada a la curva σ - ϵ en su tramo elástico lineal” (pág. 36).

La norma UNE-EN 1052-1 estima el valor del módulo de elasticidad como la pendiente de la recta que une los puntos de la curva esfuerzo-deformación correspondientes al inicio y a 1/3 de la resistencia a compresión. Por su otra parte, la norma ASTM E111-04 estima el valor del módulo de elasticidad como la pendiente del tramo que sigue una tendencia lineal en la curva esfuerzo – deformación (Montesinos Escobar, 2016, pág. 31).

En la presente investigación ya que se trabajó con deformaciones locales considerando la norma UNE-EN 1052-1, para la determinación experimental del módulo de elasticidad se consideró la deformación local 1 de la siguiente manera:

Una vez obtenido el diagrama esfuerzo - deformación específica, se ubicó dos puntos importantes:

- El origen.
- En el eje de las ordenadas se ubica el esfuerzo $\sigma=1/3\sigma_{\max}$ y se traza una línea paralela al eje de las abscisas hasta interceptar a la curva del diagrama.

Con los dos puntos previamente obtenidos en el procedimiento anterior, se trazó una línea que una estos dos puntos. La pendiente de esta recta resultante, representa el módulo de elasticidad estático.

Dependiendo de los datos del ensayo y de la curva esfuerzo deformación obtenida, ocasionalmente fue necesario realizar el cálculo del módulo de

elasticidad con base en los esfuerzos y deformaciones unitarias en los puntos equivalentes a 1/3 de la carga máxima de rotura y a una deformación unitaria de 0.05×10^{-3} .

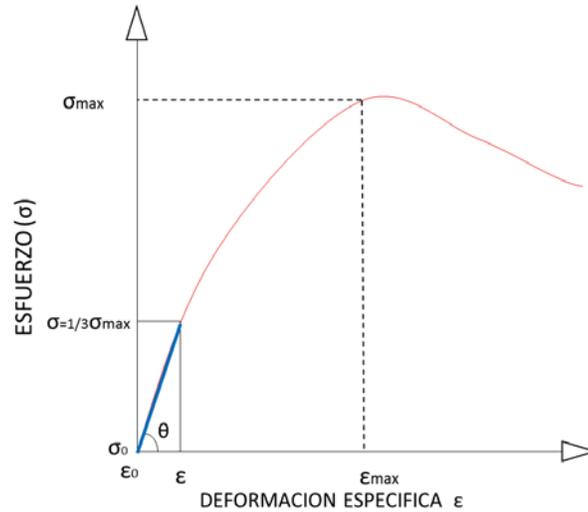


Figura 05.87. Módulo de elasticidad: Curva esfuerzo – deformación.

Fuente: Propia.

$$E = \tan \theta = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots (17)$$

El comportamiento de la resistencia de la mampostería de adobe debido a la composición heterogénea de los materiales que lo conforman conlleva a una variación de resultados los cuales se muestran en los siguientes gráficos:

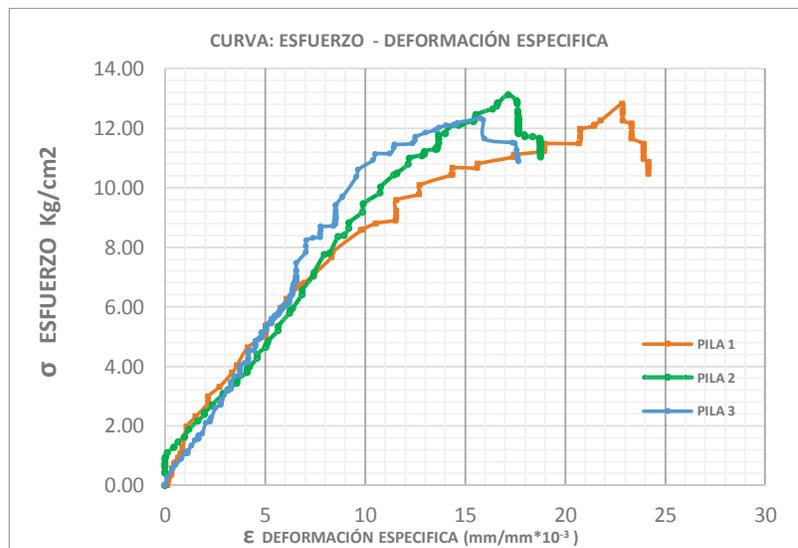


Figura 05.88. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 1,2 y 3, junta=3.00cm.

Fuente: Propia.

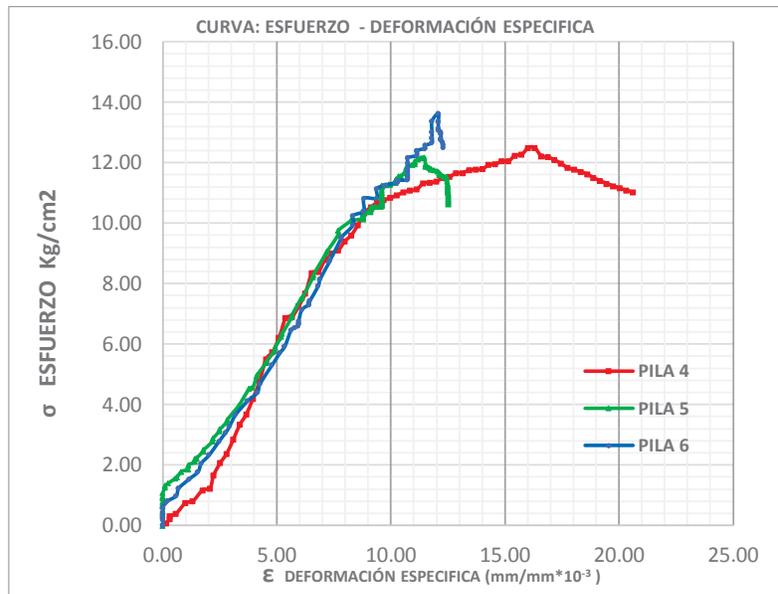


Figura 05.89. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 4,5 y 6, junta=2.00cm.

Fuente: Propia.

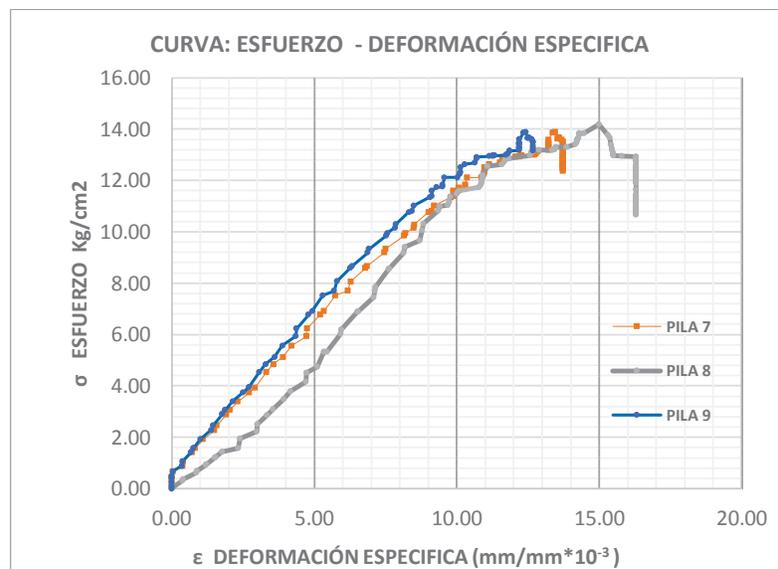


Figura 05.90. Curva esfuerzo - deformación de las pilas 7,8 y 9, junta=1.00cm.

Fuente: Propia.

Tabla 05.32. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=3.00cm.

Fuente: Propia.

PILA	σ_{\max} Kg/cm ²	ϵ de falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
P1	10.43	12.73	1129.16	110.73
P2	10.79	12.96	979.12	96.02
P3	10.61	9.66	1052.21	103.19
\bar{X}	10.61	11.78	1053.50	103.31
α	0.18	1.84	7.36	
CV	1.72%	15.65%	7.12%	

Tabla 05.33. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=2.00cm.

Fuente: Propia.

PILA	σ_{\max} Kg/cm ²	ϵ de falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
P4	10.34	8.84	992.52	97.33
P5	10.57	9.60	1233.01	120.92
P6	11.14	9.38	1145.24	112.31
\bar{X}	10.68	9.27	1123.59	110.19
α	0.41	0.39	11.93	
CV	3.86%	4.23%	10.83%	

Tabla 05.34. Propiedades mecánicas de las pilas de adobe de junta=1.00cm.

Fuente: Propia.

PILA	σ_{\max} Kg/cm ²	ϵ de falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
P7	11.72	10.06	1344.39	131.84
P8	10.99	9.39	1090.07	106.90
P9	11.35	9.05	1488.76	146.00
\bar{X}	11.35	9.50	1307.74	128.24
α	0.36	0.51	19.80	
CV	3.21%	5.42%	15.44%	

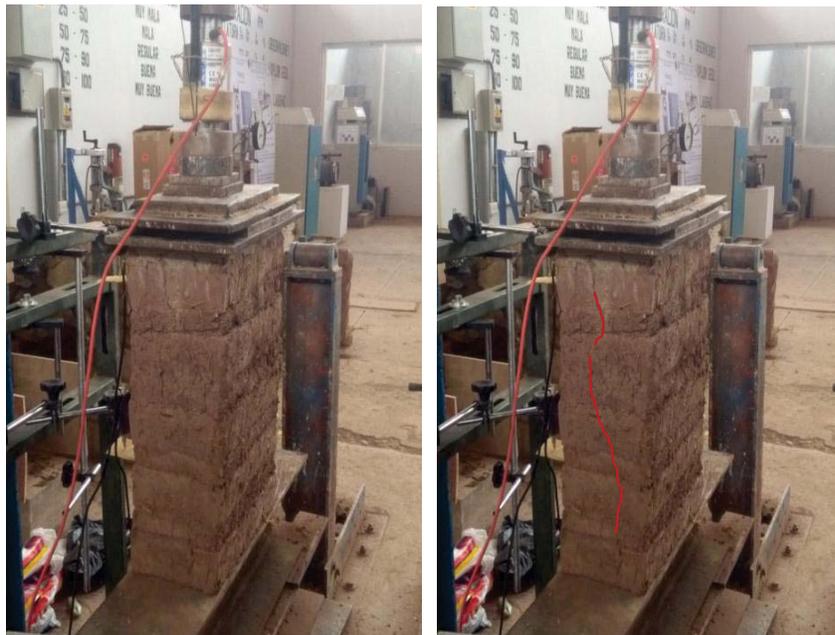


Figura 05.91. Tipo de falla registrada en pilas.

Fuente: Propia.

05.05.04. ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MURETES DE ADOBE

05.05.04.01. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo de compresión en muretes se realizó siguiendo la metodología empleada para las pilas de adobe. Se utilizó una prensa que consta de una gata a la cual se le acopló una celda de cargas de 20 Tn la cual permitió registrar el esfuerzo aplicado. Para medir las deformaciones, se utilizaron 4 indicadores con 12.7 mm de deformación máxima. Estos indicadores fueron colocados en posición vertical en una cara del murete distribuidos de acuerdo a las líneas de control trazadas previamente, los indicadores de deformación L1-L2 se colocaron en la parte media de la línea de control vertical considerándose estos puntos los más representativos ya que abarca la mayor parte de la altura del murete, L3 y L4 se colocó en la zona lateral a izquierda y derecha del eje central. Se colocaron también vigas rígidas de acero de 25 cm de peralte sobre la superficie de contacto del murete tanto arriba como debajo para la distribución uniforme de la carga en el espécimen tal como se puede apreciar en la Figura 05.92.

Tanto la celda de carga como los indicadores estuvieron conectados a un DAQ. En la Figura 05.92 se observa el murete instrumentado con los indicadores fijados mediante brazos a la armadura e instalada en la prensa con la celda de cargas y el DAQ construido para la presente investigación.

Tabla 05.35. Dimensiones y espesor de junta de los muretes de adobe.

Fuente: Propia.

MURETE	ESPESOR e (cm)	LARGO (cm)	ALTURA (cm)	ANCHO (cm)	DIAGONAL (cm)	ÁREA DE CONTACTO
M1	1.00	64.90	61.60	16.00	90.30	1038.40
M2	1.00	64.90	61.00	16.00	90.10	1038.40
M3	1.00	65.00	61.25	16.00	89.75	1040.00
M4	2.00	66.00	66.40	16.00	93.00	1056.00
M5	2.00	65.80	65.90	16.00	92.40	1052.80
M6	2.00	66.10	66.80	16.00	93.20	1057.60
M7	3.00	66.80	70.15	16.00	95.60	1068.80
M8	3.00	67.00	71.00	16.00	96.00	1072.00
M9	3.00	67.00	70.00	16.00	96.40	1072.00

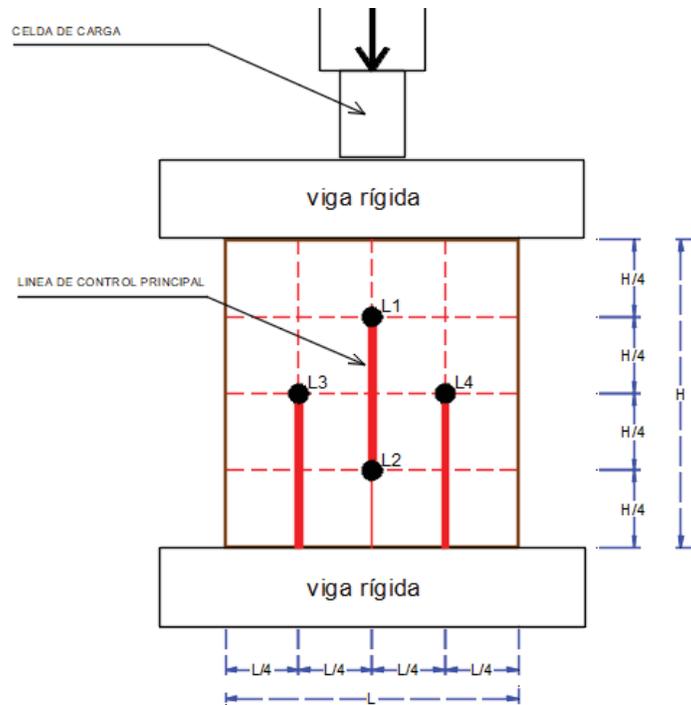


Figura 05.92. Esquema de instrumentación de murete de adobe para ensayo de compresión.

Fuente: Propia



Figura 05.93. Murete de adobe instrumentado para ensayo de compresión.

Fuente: Propia.

La aplicación de la carga se realizó accionando la gata manualmente como se ve en la Figura 05.93 a una velocidad constante de manera que se evite concentración de esfuerzos, hasta generar la rotura en el espécimen.



Figura 05.94. Tipo de fractura característica en los ensayos de compresión de muretes.

Fuente: Propia.

05.05.04.02. RESULTADOS DEL ENSAYO

Los ensayos de compresión de muretes se realizaron con cuatro indicadores de deformación por cada espécimen, colocados en sentido vertical en una de las caras del murete como se puede apreciar en la Figura 05.93. Se obtuvieron deformaciones locales, una en la línea de control principal L1 - L2 y dos laterales L3 Y L4 para ver como es el comportamiento del material en cada sector. En base a la carga y deformaciones se obtuvo tres curvas de esfuerzo - deformación específica por cada murete ensayado y luego se calculó el módulo de elasticidad correspondiente para cada caso considerando el procedimiento que se describe en la parte de marco conceptual referida a ensayos destructivos de compresión uniaxial. Puesto que en el presente proyecto no se procederá a la obtención del módulo de Poisson, no se estudiarán las gráficas que exponen los desplazamientos transversales de los indicadores de deformación.

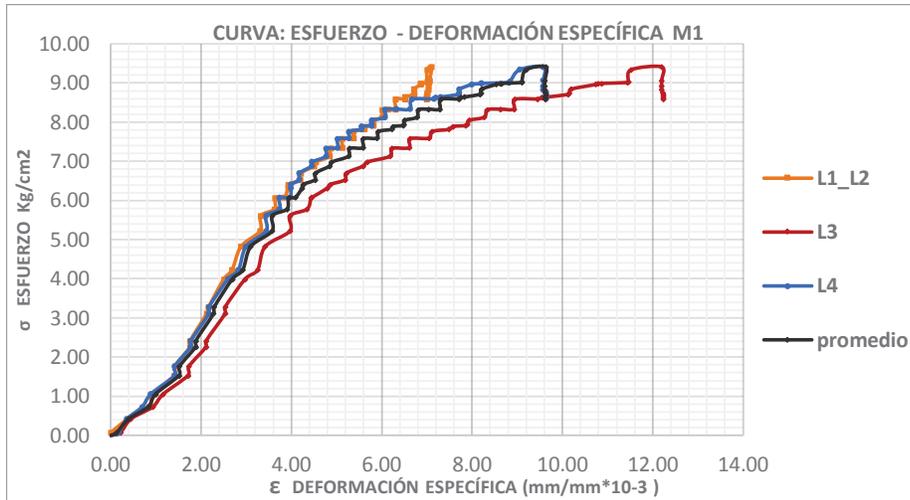


Figura 05.95. Curvas esfuerzo-deformación del murete 01, $J=1.00\text{cm}$.
Fuente: Propia.

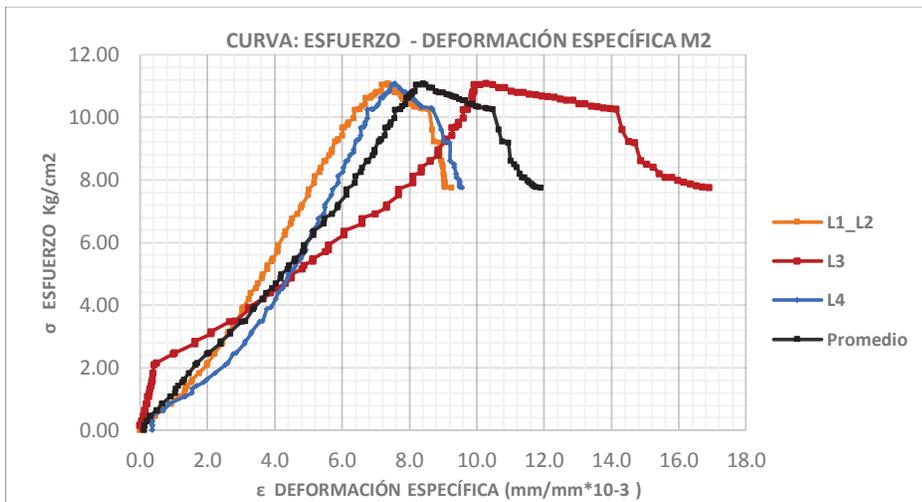


Figura 05.96. Curvas esfuerzo-deformación del murete 02, $J=1.00\text{cm}$.
Fuente: Propia.

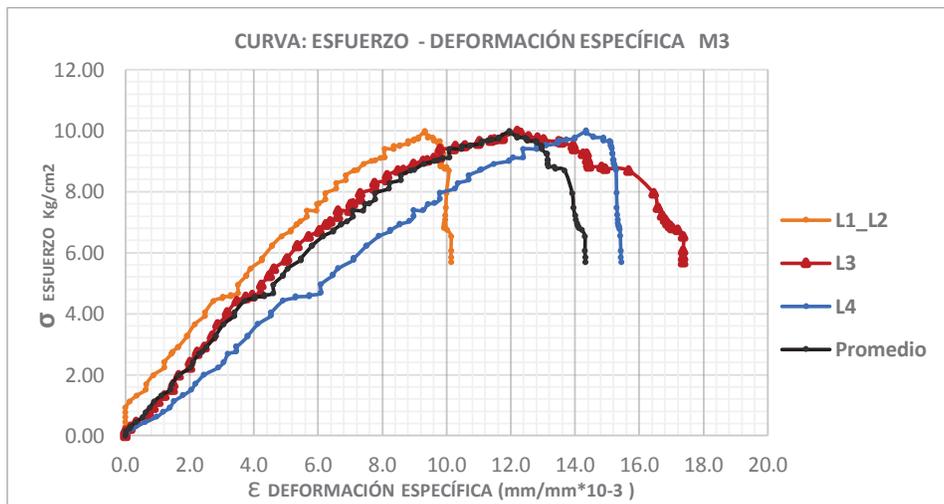


Figura 05.97. Curvas esfuerzo-deformación del murete 03, $J=1.00\text{cm}$.
Fuente: Propia.

Tabla 05.36. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=1cm.
Resultados obtenidos de los ensayos de compresión considerando deformaciones locales para cada indicador de deformación. Fuente propia.

Murete	Indicador de Deformacion	σ_{max} (Kg/cm ²)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
01	L1_L2	9.41	7.10	1472.04	144.36
	L3		12.20	1238.90	121.49
	L4		9.58	1443.38	141.55
	\bar{X}		9.63	1384.77	135.80
	α		2.55	12.47	
	CV		0.26	9.18%	
02	L1_L2	11.09	7.36	1451.51	142.34
	L3		10.28	1210.81	118.74
	L4		7.57	996.32	97.71
	\bar{X}		8.41	1219.55	119.60
	α		1.63	22.33	
	CV		0.19	18.67%	
03	L1_L2	9.99	9.33	1707.21	167.42
	L3		12.20	1049.07	102.88
	L4		14.35	862.94	84.62
	\bar{X}		11.96	1206.40	118.31
	α		2.52	43.50	
	CV		0.21	36.77%	

Tabla 05.37. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=1.00cm.
Fuente: Propia.

MURETES J= 1 cm	σ_{max} (Kg/cm ²)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm ²)	Ee (Mpa)
M1	9.41	8.41	1219.55	119.60
M2	11.09	9.63	1384.77	135.80
M3	9.99	11.96	1206.40	118.31
\bar{X}	10.16	10.00	1270.24	124.57
α	0.85	1.81	9.75	
CV	8.37%	18.06%	7.83%	

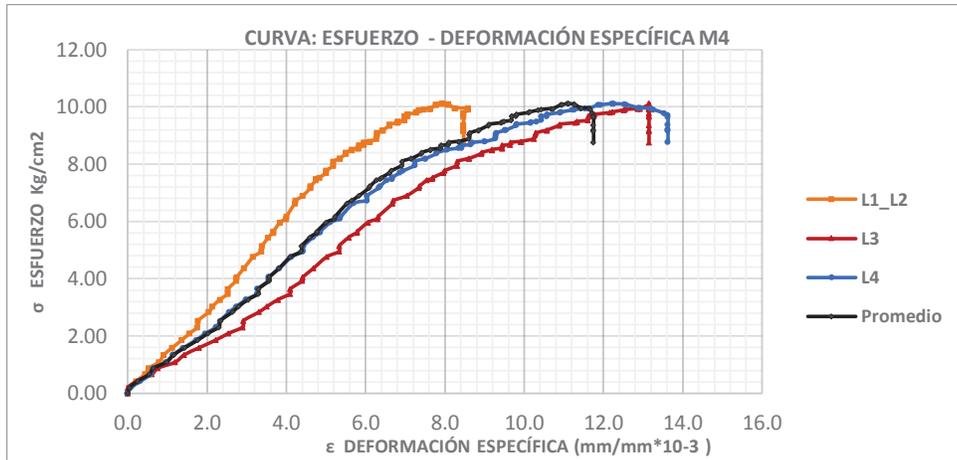


Figura 05.98. Curvas esfuerzo-deformación del murete 04, J=2.00cm.
Fuente: Propia.

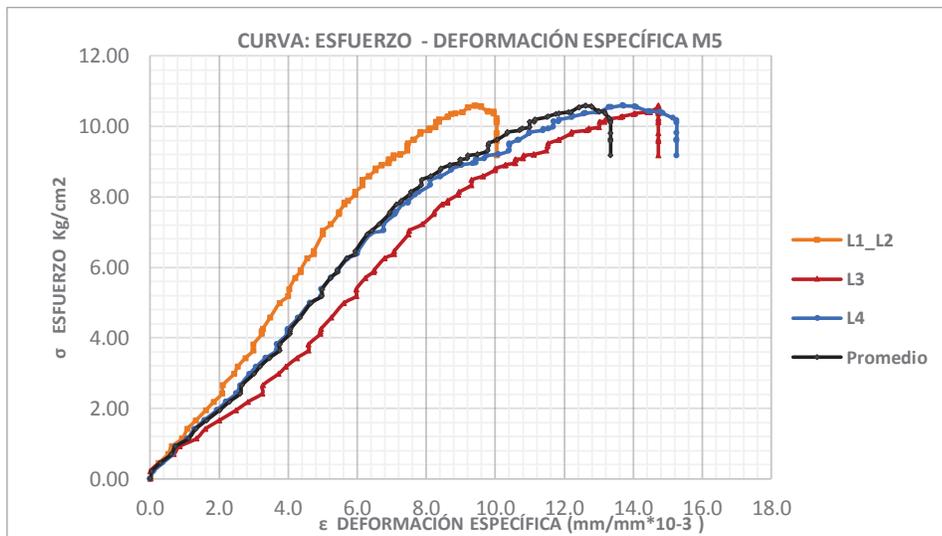


Figura 05.99. Curvas esfuerzo-deformación del murete 05, J=2.00cm.
Fuente: Propia.

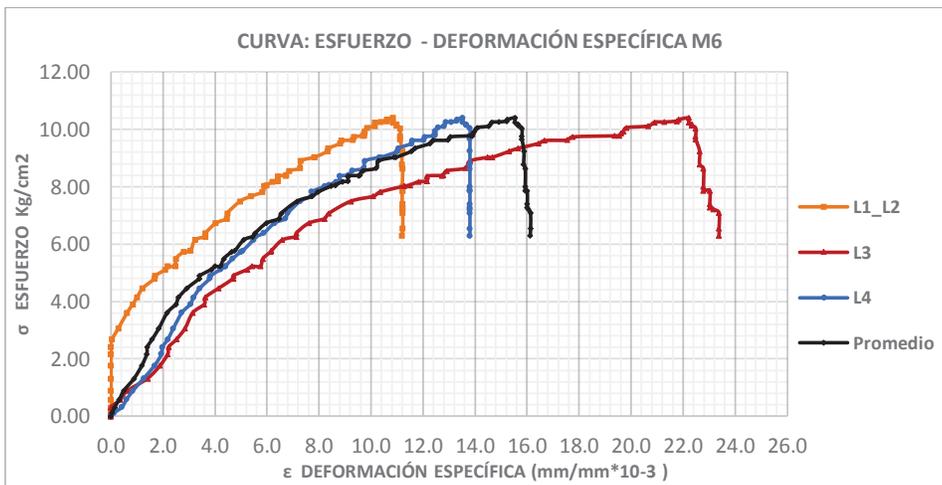


Figura 05.100. Curvas esfuerzo-deformación del murete 06, J=2.00cm.
Fuente: Propia.

Tabla 05.38. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=2.00cm,
Resultados obtenidos de los ensayos de compresión considerando deformaciones
locales para cada indicador de deformación. Fuente propia.

Murete	Indicador de Deformacion	σ_{max} (Kg/cm2)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm2)	Ee (Mpa)
04	L1_L2	10.12	7.92	1391.95	136.50
	L3		13.15	856.02	83.95
	L4		12.22	1078.26	105.74
	\bar{X}		11.10	1108.74	108.73
	α	2.79	26.41		
	CV	0.25	24.29%		
05	L1_L2	10.59	9.39	1229.11	120.53
	L3		14.72	800.34	78.49
	L4		13.68	1008.12	98.86
	\bar{X}		12.60	1012.52	99.29
	α	2.83	21.03		
	CV	0.22	21.18%		
06	L1_L2	10.40	10.84	1154.30	113.20
	L3		15.30	1130.46	110.86
	L4		13.53	1226.89	120.32
	\bar{X}		13.22	1170.55	114.79
	α	2.25	4.93		
	CV	0.17	4.29%		

Tabla 05.39. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=2.00cm.

Fuente propia.

MURETES J= 2 cm	σ_{max} (Kg/cm2)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm2)	Ee (Mpa)
M4	10.12	11.10	1108.74	108.73
M5	10.59	12.60	1012.52	99.29
M6	10.40	13.22	1170.55	114.79
\bar{X}	10.37	12.31	1097.27	107.61
α	0.24	1.09	7.81	
CV	2.29%	8.88%	7.26%	

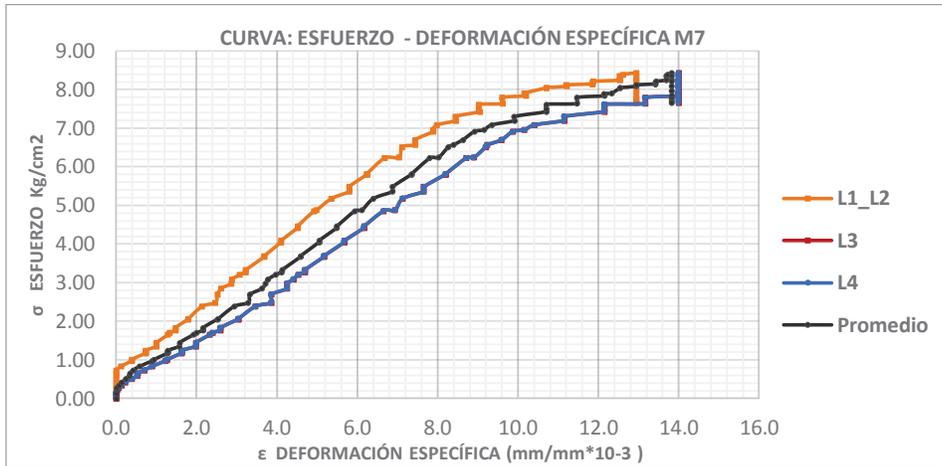


Figura 05.101. Curvas esfuerzo-deformación del murete 07, J=3.00cm.
Fuente: Propia.

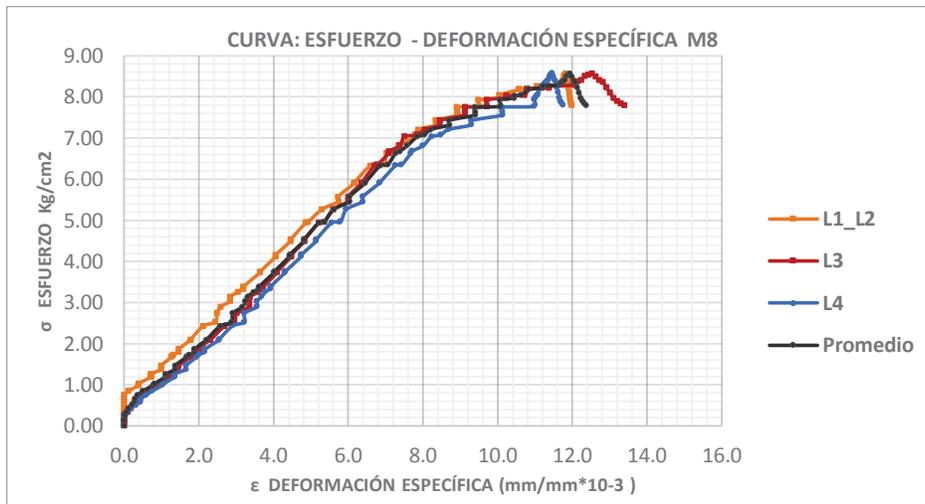


Figura 05.102. Curvas esfuerzo-deformación del murete 08, J=3.00cm.
Fuente: Propia.

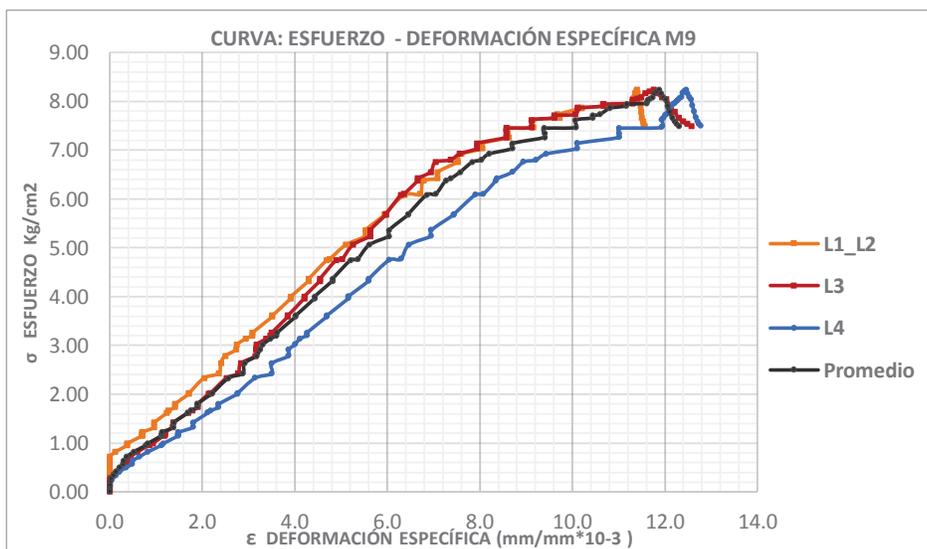


Figura 05.103. Curvas esfuerzo-deformación del murete 09, J=3.00cm.
Fuente: Propia

Tabla 05.40. Propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=3.00cm,
Resultados obtenidos de los ensayos de compresión considerando deformaciones
locales para cada indicador de deformación. Fuente propia.

Murete	Indicador de Deformacion	σ_{max} (Kg/cm2)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm2)	Ee (Mpa)
07	L1_L2	8.43	12.94	1084.14	106.32
	L3		14.55	716.45	70.26
	L4		14.00	674.51	66.15
	\bar{X}		13.83	825.03	80.91
	α	0.82	22.10		
	CV	0.06	27.32%		
08	L1_L2	8.57	11.82	1116.09	109.45
	L3		12.52	873.43	85.65
	L4		11.46	822.30	80.64
	\bar{X}		11.94	937.27	91.91
	α	0.54	15.39		
	CV	0.05	16.75%		
09	L1_L2	8.23	11.39	1112.73	109.12
	L3		11.75	894.34	87.70
	L4		12.45	727.17	71.31
	\bar{X}		11.87	911.41	89.38
	α	0.54	18.96		
	CV	0.05	21.21%		

Tabla 05.41. Resumen de las propiedades mecánicas de los muretes de adobe de junta=3.00cm.
Fuente propia.

MURETES J= 3 cm	σ_{max} (Kg/cm2)	ϵ falla (x 10 ⁻³ mm/mm)	Ee (Kg/cm2)	Ee (Mpa)
M7	8.43	13.83	825.03	80.91
M8	8.57	11.94	937.27	91.91
M9	8.23	11.87	911.41	89.38
\bar{X}	8.41	12.54	891.24	87.40
α	0.17	1.11	5.76	
CV	2.01%	8.88%	6.59%	

Las Tablas 05.37, 05.39 y 05.41 muestran el resultado de las propiedades mecánicas obtenidas en el ensayo de compresión. Como se puede apreciar en las gráficas anteriores las deformaciones locales distan unas de otras, esto se debe a que el espécimen tiene diferente respuesta en cada zona para un mismo esfuerzo, por lo tanto el módulo de elasticidad también varía.

Se obtuvo 3 curvas de “ σ - ϵ ” a partir de la carga aplicada y deformaciones registradas por los indicadores de deformación. De los indicadores L1 - L2 se obtuvo una curva “ σ - ϵ ” ya que está ubicado en la línea de control principal y ambos registraron deformaciones verticales en la misma dirección. Para hallar la deformación específica “ ϵ ” se consideró la diferencia de deformación dividido entre la distancia de separación. De los indicadores L3 y L4 se obtuvo dos curvas σ - ϵ ya que ambos registraron deformaciones verticales en la parte lateral central del murete.

El módulo de elasticidad se obtuvo del tramo correspondiente al origen y $1/3 \cdot \sigma_{max}$ de la curva “ σ - ϵ ”. Estos resultados como se puede apreciar, varían de 911.41 Kg/cm² a 1472.04 Kg/cm² respectivamente, los cuales están dentro del rango de resultados obtenidos en otras investigaciones citadas en los antecedentes. Según Vargas y Otatazi, Perú, el módulo de elasticidad se encuentra entre 611.832 - 3813.75 Kg/cm² (60-374 Mpa) para mampostería de adobe contemporáneo e histórico respectivamente.

CAPÍTULO VI.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

06. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

06.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS

06.01.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS POR COMPRESIÓN

06.01.01.01. ANÁLISIS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN PILAS

Los ensayos de pilas presentan curvas con comportamiento diferente para cada tipo de junta tal como se vio anteriormente. De esto se concluye que la resistencia a compresión de la mampostería de adobe depende también del tipo de mortero utilizado en la junta, en este caso se vio que la resistencia del mortero es menor que el de la unidad de adobe y por ende cuando se somete a compresión, los sectores más deformables son las juntas. En la Tabla 06.01 se puede apreciar que la resistencia a la compresión no varía significativamente para las nueve muestras, en las que si existen una considerable dispersión es en las deformaciones y por ende en el valor del módulo de elasticidad. Las pilas con mayor espesor de junta se deformaron más, tal como se puede apreciar en la Figura 06.01.

Tabla 06.1. Resistencia a compresión simple, deformación de falla y módulos de elasticidad en pilas de adobe con variación de junta.
Fuente: Propia.

Pila	Espesor de Junta "e" (cm)	σ_{max} (Kg/cm ²)	ϵ de falla (x10 ⁻³ mm/mm)	Ee (kg/cm ²)	Ee (Mpa)
P1	3.00	10.42	14.32	1128.81	110.70
P2	3.00	11.14	12.96	945.87	92.76
P3	3.00	10.61	9.66	1051.88	103.15
	\bar{X}	10.72	12.31	1042.19	102.20
	α	0.37	2.40	91.85	9.01
	CV	3.47%	19.47%	8.81%	8.81%
P4	2.00	10.33	8.84	992.21	97.30
P5	2.00	10.57	9.38	1232.63	120.88
P6	2.00	11.14	9.38	1144.88	112.27
	\bar{X}	10.68	9.20	1123.24	110.15
	α	0.41	0.31	121.66	11.93
	CV	3.86%	3.39%	10.83%	10.83%
P7	1.00	12.95	12.19	1356.81	133.06
P8	1.00	12.75	8.79	1139.26	111.72
P9	1.00	11.34	9.05	1488.29	145.95
	\bar{X}	12.35	10.01	1328.12	130.24
	α	0.88	1.90	176.28	17.29
	CV	7.1%	18.9%	13.3%	13.3%

Se vio que el espesor de junta influye en la resistencia de la mampostería de adobe. En promedio la resistencia de las pilas de 3 cm de espesor llego a 10.72 Kg/cm² y las de 1 cm se obtuvieron una resistencia de 11.35 kg/cm². Estos valores están dentro del rango obtenido en otras investigaciones tal es el caso de Almeida Portugal, 8.16 - 16.83 Kg/cm² (0.8-1.65 Mpa).

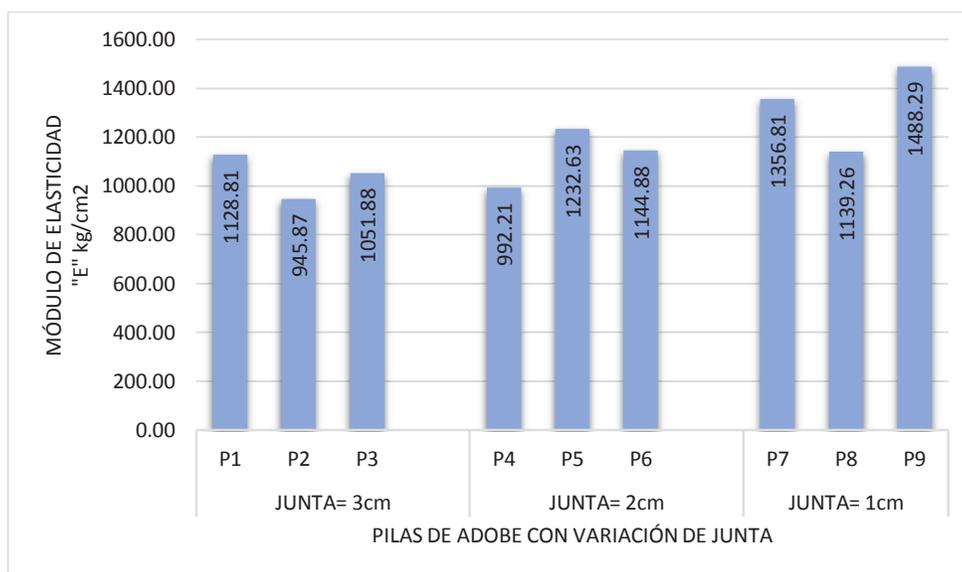


Figura 06.1. Módulo de elasticidad obtenido en pilas de adobe por espesor de junta.

Fuente: Propia.

La Figura 06.01 muestra los resultados obtenidos de los ensayos de compresión en el que podemos ver que para las pilas de espesor de junta igual 1 y 2 centímetros los resultados de módulo de elasticidad tienen un comportamiento disperso a diferencia que para las pilas de espesor de junta igual 3 centímetros, esto se debe a factores como la mano de obra en el proceso de elaboración de las pilas de adobe. Dependiendo del nivel de compactación que se haya elaborado la unidad y la junta, sufrirá más o menos deformaciones antes de llegar a su límite de rotura.

06.01.01.02. ANÁLISIS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN MURETES

Los ensayos de compresión axial en muretes se realizaron principalmente para obtener una correlación entre el módulo de elasticidad estático obtenido mediante ensayo de compresión y la velocidad de onda “P” por ensayos sísmicos ya que ambos ensayos se realizaron en los mismos especímenes.

De los ensayos destructivos en muretes se obtuvieron curvas “ σ - ϵ ” con iguales características que el de los ensayos en pilas. Se vio que hay una dispersión en

los valores de módulo de elasticidad y deformación máxima o de falla, sin embargo la resistencia a la compresión son similares. En pilas se obtuvieron resistencias de 10.72 -11.35 Kg/cm² y en muretes de 8.23 a 11.09 Kg/cm² los cuales no distan mucho.

El tipo de fractura que se observó en los muretes fue de aplastamiento y cizalladura, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 06.2. Tipo de falla registrado en ensayo de compresión en muretes.

Fuente: propia.

Tabla 06.2. Resistencia a compresión simple y deformaciones de falla a partir de cada indicador de deformación.

Fuente: Propia.

MURETE	σ_{\max} (kg/cm ²)	ϵ_{1_2} de falla (x10 ⁻³ mm/mm)	ϵ_3 de falla (x10 ⁻³ mm/mm)	ϵ_4 de falla (x10 ⁻³ mm/mm)	$\epsilon_{\bar{x}}$ de falla (x10 ⁻³ mm/mm)	α	CV
M1	11.09	7.36	10.28	7.57	8.41	1.63	19.37%
M2	9.41	7.10	12.20	9.58	9.63	2.55	26.45%
M3	9.99	9.33	12.20	14.35	11.96	2.52	21.09%
M4	10.12	7.92	13.15	12.22	11.10	2.79	25.15%
M5	10.59	9.39	14.72	13.68	12.60	2.83	22.45%
M6	10.40	10.84	15.30	13.53	13.22	2.25	16.99%
M7	8.43	12.94	14.55	14.00	13.83	0.82	5.90%
M8	8.57	11.82	12.52	11.46	11.94	0.54	4.52%
M9	8.23	11.39	11.75	12.45	11.87	0.54	4.56%

Tabla 06.3. Resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad a partir de cada indicador de deformación.

Fuente: Propia.

MURETE	σ_{max} (Kg/cm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDAD CONSIDERANDO DEFORMACIONES LOCALES Ee						
		Ee _{1,2} (Kg/cm ²)	Ee ₃ (Kg/cm ²)	Ee ₄ (Kg/cm ²)	\bar{X} (Kg/cm ²)	\bar{X} (Mpa)	α	CV
M1	9.41	1472.04	1238.90	1443.38	1384.77	135.80	127.1	9.18%
M2	11.09	1451.51	1210.81	996.32	1219.55	119.60	227.7	18.67%
M3	9.99	1707.21	1049.07	862.94	1206.40	118.31	443.6	36.77%
M4	10.12	1391.95	856.02	1078.26	1108.74	108.73	269.3	24.29%
M5	10.59	1229.11	800.34	1008.12	1012.52	99.29	214.4	21.18%
M6	10.40	1154.30	1130.46	1226.89	1170.55	114.79	50.2	4.29%
M7	8.43	1084.14	716.45	674.51	825.03	80.91	225.4	27.32%
M8	8.57	1116.09	873.43	822.30	937.27	91.91	157.0	16.75%
M9	8.23	1112.73	894.34	727.17	911.41	89.38	193.3	21.21%

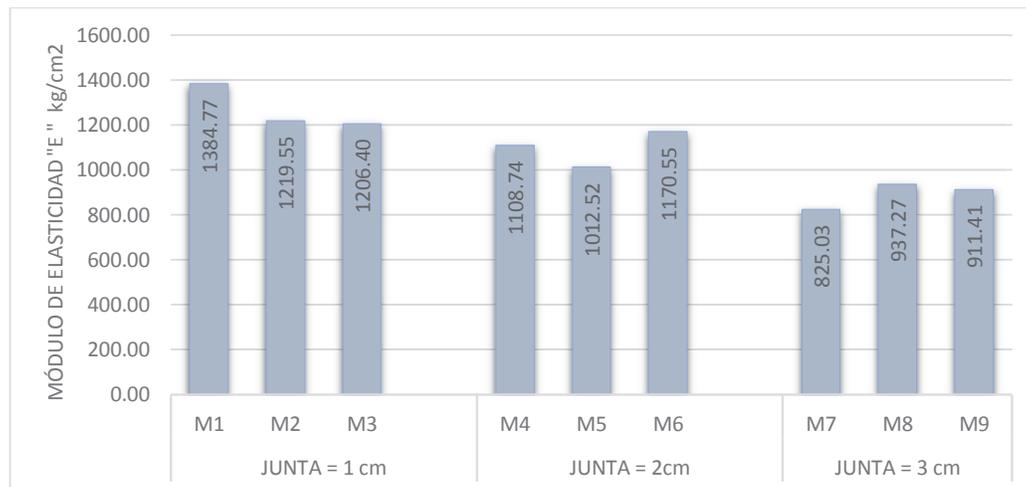


Figura 06.3. Módulo de elasticidad de muretes obtenido a partir de cada indicador de deformación.

Fuente: Propia.

En las Tablas 06.02 y 06.03 se muestran las deformaciones específicas y módulos de elasticidad calculadas a partir de los indicadores de deformación locales L1_L2, L3, L4, se puede observar en un murete, que hay diferentes deformaciones para un mismo esfuerzo.

Los valores del módulo de elasticidad E_{e3} y E_{e4} corresponden a las deformaciones de las zonas laterales del eje horizontal del espécimen a la izquierda y derecha respectivamente. En la Tabla 06.02 se puede observar que pese a que ambos indicadores están situados a la misma altura de la base del espécimen registraron deformaciones diferentes; a excepción del murete numero 7; sin embargo la

diferencia no es significativa, esta diferencia nos indica que estas variaciones pueden obedecer a diferentes factores como: el proceso de elaboración de los muretes de adobe a pesar de tener bastante cuidado en el proceso constructivo de la mampostería no se consigue una uniformidad optima de distribución de las partículas que lo componen tanto en la unidad y el mortero, existen zonas donde dependiendo de lo compactado que se haya elaborado la unidad y la correcta distribución del mortero, sufrirá más o menos deformaciones en cada sector.

MÓDULO DE ELASTICIDAD EN LÍNEA DE CONTROL Ee1_2

El módulo de elasticidad Ee1_2 para cada muérete se obtuvo a partir de la deformaciones verticales registradas en la línea de control principal por los indicadores de deformación locales L1 y L2 ubicados a 3/4H y 1/4H respectivamente como se puede apreciar en la Figura 05.92 del anterior capítulo. Se consideró estos valores como representativos del espécimen ya que se ubican en la línea de control principal y registraron deformaciones en la parte superior y en la parte inferior del murete. En los siguientes cuadros se muestran los resultados.

Tabla 06.4. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=1.00cm.

Fuente: Propia.

MURETES JUNTA= 1 cm	σ_{max} (Kg/cm2)	$\epsilon_{1,2}$ falla (x10 ⁻³ mm/mm)	Ee _{1,2} (Kg/cm2)	Ee _{1,2} (Mpa)
M1	9.41	7.105	1472.038	144.357
M2	11.09	7.362	1451.511	142.344
M3	9.99	9.326	1707.207	167.419
\bar{X}	10.54	8.344	1579.359	154.882
α	0.78	1.389	17.731	
CV	7%	17%	11%	

Tabla 06.5. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=2.00cm.

Fuente: Propia.

MURETES JUNTA= 2 cm	σ_{max} (Kg/cm2)	$\epsilon_{1,2}$ falla (x10 ⁻³ mm/mm)	Ee _{1,2} (Kg/cm2)	Ee _{1,2} (Mpa)
M4	10.12	7.920	1391.953	136.503
M5	10.59	9.388	1229.111	120.534
M6	10.40	10.838	1154.302	113.198
\bar{X}	10.37	9.382	1258.455	116.866
α	0.24	1.459	11.916	
CV	2%	16%	10%	

Tabla 06.6. Propiedades mecánicas representativas en muretes de junta=3.00cm.

Fuente: Propia.

MURETES JUNTA= 3 cm	σ_{max} (Kg/cm ²)	$\epsilon_{1,2}$ falla (x10 ⁻³ mm/mm)	Ee _{1,2} (Kg/cm ²)	Ee _{1,2} (Mpa)
M 7	8.43	12.944	1084.137	106.317
M 8	8.57	11.822	1116.086	109.450
M 9	8.23	11.391	1112.726	109.121
\bar{X}	8.41	12.052	1104.316	109.285
α	0.17	0.802	1.722	
CV	2%	7%	2%	

Tabla 06.7. Módulos de elasticidad representativos obtenidos de las deformaciones en la línea de control principal.

Fuente: Propia.

MURETE	σ_{max} (kg/cm ²)	Ee _{1,2} (Kg/cm ²)	Ee _{1,2} promedio (Kg/cm ²)	Ee _{1,2} promedio (Mpa)	α	CV
M1	9.412	1472.0	1543.59	151.37	142.07	9.2%
M2	11.087	1451.5				
M3	9.989	1707.2				
M4	10.119	1392.0	1258.46	123.41	121.51	9.7%
M5	10.592	1229.1				
M6	10.403	1154.3				
M7	8.426	1084.1	1104.32	108.30	17.56	1.6%
M8	8.570	1116.1				
M9	8.233	1112.7				

Para fines de la presente investigación se considera los valores del módulo de elasticidad de la Tabla 06.7 como representativos para cada murete ya que estos valores se obtuvieron en base a la curva “ σ - ϵ ” trazado con las deformaciones registradas de la línea de control principal en el cual la distancia entre los indicadores L1 y L2 abarcan la mayor parte central del espécimen. Los valores obtenidos de Ee a partir de las deformaciones registradas por los indicadores L3 y L4 son muy dispersos y al obtener un promedio nos dan un CV de 26 a 36 % como se observa en la Tabla 06.03, lo cual indica que no sería prudente trabajar con estos valores, se tiene también la limitación de que estos indicadores de deformación solo registraron las deformaciones a partir de la mitad del espécimen.

06.01.02. ANÁLISIS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS P

Los ensayos de propagación de ondas realizados tanto en muretes de adobe como en los muros del templo, permitieron obtener un registro de velocidades que junto con valores de densidad y módulo de Poisson, permitieron calcular el módulo de elasticidad dinámico del material en base a la fórmula 14. En las Tablas 05.24 y 05.29 del capítulo anterior se muestran los resultados del módulo de elasticidad dinámico para muretes y muros del templo respectivamente.

Los valores del módulo de elasticidad dinámico fueron calculados con la fórmula propuesta en la Norma ASTM C 597-02 y que expresamente especifica su validez para ensayos sónicos en concreto (ASTM INTERNACIONAL, 2002). Dado que el material de estudio a lo largo del desarrollo de esta investigación fue el adobe, los valores de módulo de elasticidad dinámico obtenidos con la fórmula para concreto no son los definitivos y tendrán que ser analizados mediante una correlación.

06.02. CORRELACIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA “Vp” Y MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO “Ee”

El módulo de elasticidad estático “E_e” se determinó en los ensayos de compresión axial. Si bien se trató de calcular el módulo de elasticidad dinámico de los muretes en función de la velocidad de propagación, el propósito de esta investigación es calcular E_e de los muretes de adobe en función de la velocidad de propagación. Para ello se buscó una relación entre los resultados de las velocidades por ensayos no destructivos y los E_e obtenidos por ensayos destructivos.

Tabla 06.8. Resultados de V_p y E_e por murete.
Fuente: Propia.

Espesor de Junta "e" (cm)	MURETE	VP (m/s)	E estático (Mpa)
1.00	M1	331.64	144.36
	M2	306.66	142.34
	M3	366.29	167.42
2.00	M4	322.24	136.50
	M5	297.58	120.53
	M6	263.89	113.20
3.00	M7	249.47	106.32
	M8	292.25	109.45
	M9	258.33	109.12

En los ensayos de compresión de los muretes se vio que el espesor y tipo de mortero empleado para la junta influye en el comportamiento mecánico a compresión de la mampostería de adobe y por ende se buscó establecer una ecuación de correlación “V_P” – “E_e” para cada tipo de espesor de junta y otra en general.

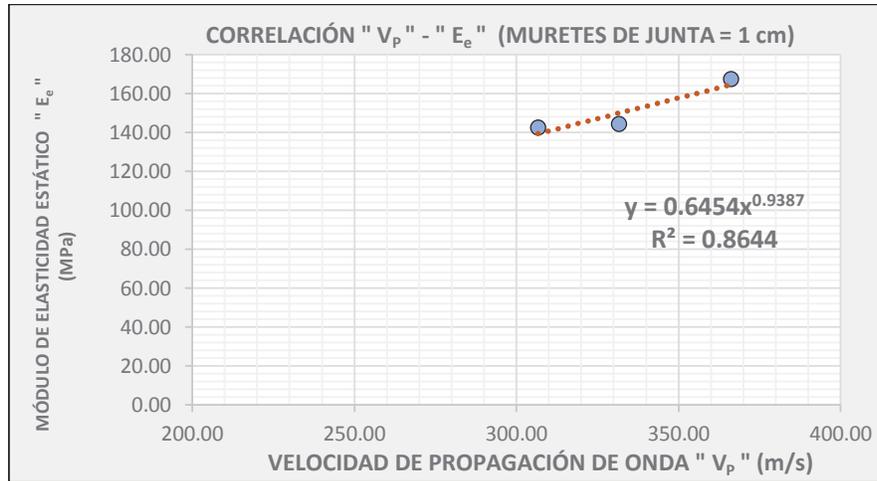


Figura 06.4. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V_P” y módulo de elasticidad estático “E_e” en muretes de espesor de junta = 1.00 cm.

Fuente: Propia.

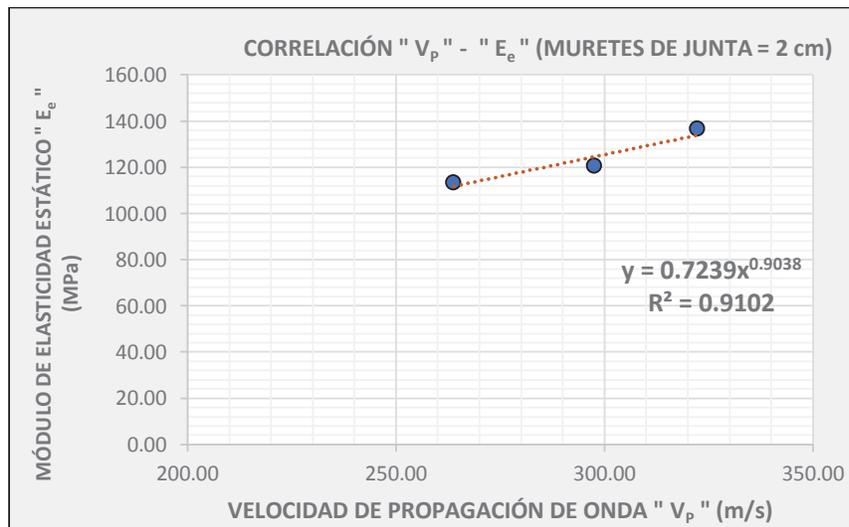


Figura 06.5. Gráfica de correlación entre velocidad de onda “V_P” y módulo de elasticidad estático “E_e” en muretes de espesor de junta = 2.00 cm.

Fuente: Propia.

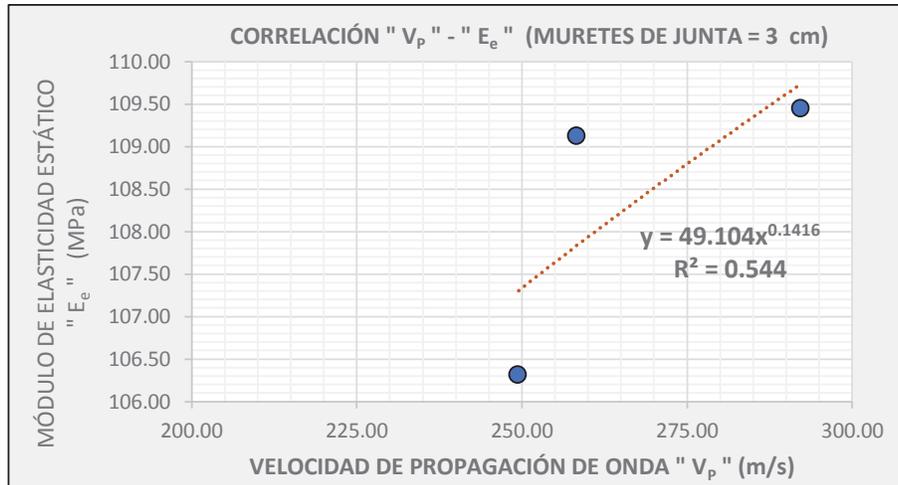


Figura 06.6. Gráfica de correlación entre velocidad de onda "V_p" y módulo de elasticidad estático "E_e" en muretes de espesor de junta = 3.00 cm.

Fuente: Propia.

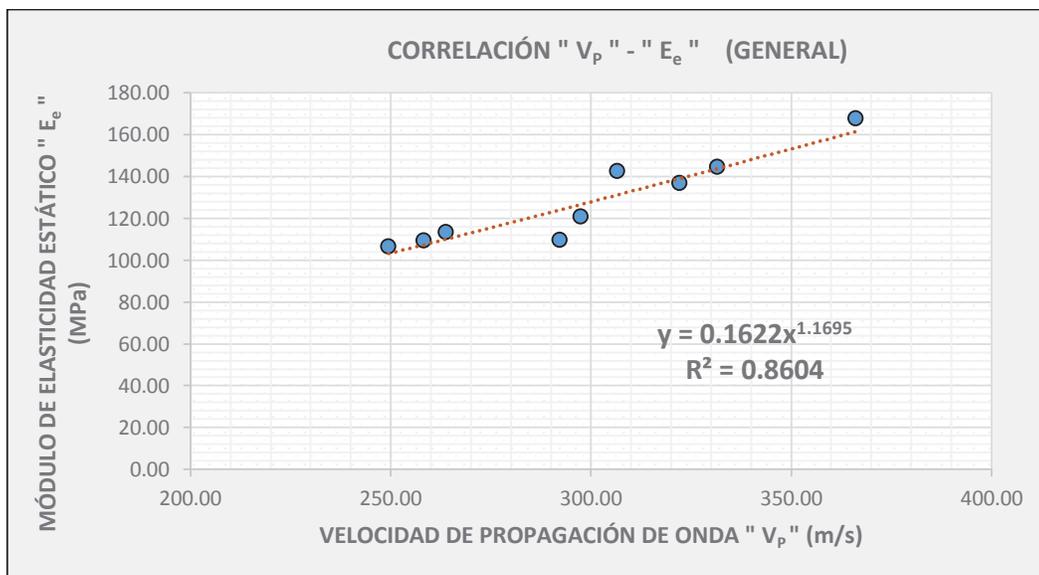


Figura 06.7. Gráfica de correlación entre velocidad de onda "V_p" y módulo de elasticidad estático "E_e" general de todos los muretes.

Fuente: Propia.

Las Figuras 06.04, 06.05, 06.06 y 06.07 muestran curvas de dispersión de los valores de velocidad de onda P y módulo de elasticidad estático de muretes agrupados según el espesor de junta y una gráfica general de los 9 muretes. En todos los casos se buscó establecer una ecuación que tenga un mejor coeficiente de reajuste R² que sea próximo a la unidad. A raíz de esto se eligió la función potencial.

En la siguiente tabla se muestra la ecuación de correlación y su coeficiente de reajuste. Se observa que los muretes de espesor de junta igual a 2.00 cm tienen una mejor correlación ya que el coeficiente de reajuste es de 0.9102 el cual se encuentra en un rango de confiabilidad aceptable por encontrarse cercano a la unidad. Para los muretes con espesor de junta igual a 3.00 cm, su coeficiente de reajuste es de 0.5440 lo que indica que no existe una correlación confiable. En caso no se tenga información sobre el espesor de la junta de la mampostería de adobe, se plantea hacer uso de la ecuación general cuyo coeficiente de reajuste es de 0.8604.

Tabla 06.9. Ecuaciones de correlación y coeficiente de reajuste.
Fuente: Propia.

DESCRIPCIÓN	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE DE REAJUSTE	OBSERVACIÓN
Muretes de e=1.00 cm	$y = 0.6454X^{0.9387}$	$R^2 = 0.8644$	Confiabilidad aceptable
Muretes de e=2.00 cm	$y = 0.7239X^{0.9038}$	$R^2 = 0.9102$	Confiabilidad buena
Muretes de e=3.00 cm	$y = 49.104X^{0.1416}$	$R^2 = 0.5440$	Confiabilidad mala
General	$y = 0.1622X^{1.1695}$	$R^2 = 0.8604$	Confiabilidad aceptable

Donde “X” representa a la velocidad de ondas P “V_P” y “Y”, al módulo de elasticidad estático “E_e”. Aplicando la ecuación de correlación para cada caso a excepción de los muretes con espesor de junta igual a 3.00 cm donde se usó la ecuación general, se tienen los valores de módulo de elasticidad estático que se muestran en la Tabla 06.10.

Tabla 06.10. Módulo de elasticidad estático para muretes de adobe obtenido por ecuación de correlación.
Fuente: Propia.

MURETE	espesor (cm)	Vp (m/s)	Ee (MPa)	Ee correlación (MPa)	Variación [%]
M1	1.00	331.64	144.36	149.96	3.88%
M2	1.00	306.66	142.34	139.33	2.11%
M3	1.00	366.29	167.42	164.62	1.67%
M4	2.00	322.24	136.50	133.84	1.95%
M5	2.00	297.58	120.53	124.54	3.33%
M6	2.00	263.89	113.20	111.73	1.30%
M7	3.00	249.47	106.32	103.12	3.00%
M8	3.00	292.25	109.45	124.09	13.38%
M9	3.00	258.33	109.12	107.42	1.56%

Tratándose de una construcción patrimonial no se pudo verificar el espesor de las juntas de la mampostería del templo debido a que está revestida con una capa de yeso interna y externamente. Sin embargo se indagó que el espesor de sus juntas oscila entre 2.00 a 2.50 cm. Por esta razón, se utilizó la ecuación de correlación de buena confiabilidad (correspondiente a muros de espesor de junta igual a 2.00 cm) para determinar su módulo de elasticidad estático a partir de las velocidades de ondas P registradas en los diferentes sectores de ensayo. En la siguiente tabla se muestran estos valores.

Tabla 06.11. Módulo de elasticidad estático para muros del templo obtenido por ecuación de correlación.

Fuente: Propia.

SECTOR	V _P (m/s)	Ee correlación (MPa)
01	619.69	241.68
02	458.78	184.18
03	545.04	215.21
04	462.22	185.43
05	591.60	231.76
06	581.05	228.02
07	624.14	243.25
08	707.55	272.45
09	615.03	240.04
\bar{X}	578.34	226.89

Las velocidades de ondas P registradas mediante ensayos sínicos utilizando una configuración indirecta, tienen en promedio un valor de 578.34 m/s y varían en un rango comprendido entre 458.78 m/s y 707.55 m/s. Teniendo como referencia a la investigación realizada en el Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas por Christian Saucedo Abanto, el autor determinó una velocidad promedio de 688 m/s en unidades de adobe utilizando ensayos sínicos de configuración directa. En los contrafuertes obtuvo velocidades que van desde los 333 m/s hasta los 1178 m/s mediante ensayos sínicos de configuración directa y en los muros del templo registró velocidades comprendidas entre los 416 m/s hasta los 1273 m/s a través de ensayos sínicos de configuración indirecta. Se puede observar que los resultados obtenidos de velocidad de propagación en la presente investigación se encuentran dentro del rango de las velocidades registradas por Christian Saucedo Abanto lo que da respaldo el método empleado.

Los valores de módulo de elasticidad estático obtenidos por la ecuación de correlación, se encuentran en un rango de 185.43 MPa a 272.45 Mpa. Según la literatura revisada, los valores del módulo de elasticidad, para la mampostería contemporánea se encuentra en un rango de 60-1071 MPa, mientras que la histórica se encuentra entre 2.06-664 MPa (Montesinos Escobar, 2016). Teniendo esta consideración, los módulos de elasticidad obtenidos se encuentran dentro del rango de otras investigaciones.

06.03. COMPARACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO CORRELACIONADO “E_e” Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO “E_d”.

Como parte del desarrollo de la investigación, se realizó una comparación entre los valores del módulo de elasticidad dinámico obtenido por la fórmula 14 anteriormente citada y el módulo de elasticidad estático obtenido por la ecuación de correlación más adecuada según sea el caso. Esta comparación se realizó tanto para los muretes de adobe como para los muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas tal como se observa en las Tablas 06.12 y 06.13.

Tabla 06.12. Módulo de elasticidad estático y dinámico de muretes.

Fuente: Propia.

MURETE	espesor (cm)	E _e correlación (MPa)	Ed (MPa)
M1	1.00	149.96	151.97
M2	1.00	139.33	133.82
M3	1.00	164.62	188.27
\bar{X}		151.31	158.02
M4	2.00	133.84	160.39
M5	2.00	124.54	135.34
M6	2.00	111.73	108.37
\bar{X}		123.37	134.70
M7	3.00	103.12	102.79
M8	3.00	124.09	143.20
M9	3.00	107.42	110.31
\bar{X}		111.55	118.77

Tabla 06.13. Módulo de elasticidad estático y dinámico de muros del templo.

Fuente: Propia.

SECTOR	Ee Correlación (MPa)	Ed (MPa)
01	241.68	589.62
02	184.18	323.16
03	215.21	456.12
04	185.43	328.03
05	231.76	537.38
06	228.02	518.37
07	243.25	598.12
08	272.45	768.65
09	240.04	580.78
\bar{X}	226.89	522.25

De los cuadros, se observa que el módulo de elasticidad dinámico es mayor al módulo de elasticidad estático.

El objetivo general de esta investigación estaba orientado a la evaluación del módulo de elasticidad estático de la mampostería de adobe del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas. Al final de la presente investigación, se determinó por correlación un módulo de elasticidad estático promedio de 226.89 MPa para la mampostería del templo. Este parámetro es fundamental para desarrollar modelos matemáticos que permitan estimar las características dinámicas y evaluar la vulnerabilidad del templo. El método no destructivo utilizado, puede ser aplicado a otras construcciones patrimoniales e históricas de características similares, para su evaluación en base a parámetros propios y no asumirlos.

CAPÍTULO VII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

07. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

07.01. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos demuestran la aplicabilidad de los métodos sónicos para evaluar el módulo de elasticidad estático en mampostería de adobe debido a que es un método no destructivo. Para muretes con espesor de junta igual a 2.00 cm, se obtuvo una ecuación de correlación $Y=0.7239X^{0.9038}$ con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9102$. De este resultado se concluye que los módulos de elasticidad obtenidos por métodos sónicos, presentan buena confiabilidad para espesores de junta igual a 2.00 cm.
- Mediante los ensayos no destructivos de propagación de onda en muretes, se obtuvo valores de módulo de elasticidad estático "Ee" por correlación y el módulo de elasticidad dinámico "Ed" aplicando la fórmula 14. Mediante los ensayos destructivos de compresión se obtuvo el módulo de elasticidad estático, realizando la comparación respectiva se tienen los siguiente datos:

Muretes	Ed (MPa)	Ee correlación (MPa)	Ee (MPa)	% Variacion entre Ee (MPa) y Ee correlación (MPa)
Junta = 1.00 cm	158.02	138.53	151.37	8.5%
Junta = 2.00 cm	134.70	123.37	123.41	0.03%
Junta = 3.00 cm	118.77	112.77	108.30	-4.1%

Para el caso de la mampostería de adobe del templo de Andahuaylillas el valor del módulo de elasticidad obtenido a partir de la correlación de la velocidad de onda y el Ee por compresión de laboratorio se encuentra en el rango de 184.18 MPa y 272.45 Mpa. El valor del módulo de elasticidad dinámico "Ed" calculado a partir de la velocidad de ondas oscila entre 323.16 MPa - 768.65 MPa.

- De los resultados de velocidad de propagación de onda en dirección vertical en muretes de adobe, se observa que los muretes con espesor de junta igual a 1.00 cm presentan una velocidad promedio de 297.35 m/s, los

muretes con espesor de junta igual a 2.00 cm presentan una velocidad promedio de 276.39 m/s, los muretes con espesor de junta igual a 3.00 cm presentan una velocidad promedio de 255.52 m/s. De esta observación se concluye que la velocidad de propagación es inversamente proporcional al espesor de la junta para el mortero utilizado en esta investigación con un porcentaje de paja de 1.50%. Por otro lado, se observa que la velocidad de propagación de onda en dirección vertical presenta mayores promedios en la posición central que en las posiciones derecha e izquierda. Esto indica que las zonas cercanas a los bordes no cuentan con buen confinamiento y que las zonas centrales son las adecuadas para el registro de velocidades.

- El espesor de mortero utilizado en la junta juega un papel muy importante en el cálculo de módulo de elasticidad. Se pudo ver que el mortero influye en la determinación de las características mecánicas dependiendo de la calidad y espesor de estas, la mampostería tendrá una respuesta diferente al esfuerzo aplicado tanto en resistencia a compresión y deformación. En la presente investigación se llegó a la conclusión que el mortero utilizado en los muretes sufrió mayores deformaciones, ya que en los resultados obtenidos se tuvo una tendencia que para las juntas de menor espesor se tuvo una mejor resistencia a compresión y por lo tanto el modulo fue mayor que para las juntas de mayor espesor.

07.02. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar el registro de velocidades de propagación de onda en dirección vertical, en la zona central del elemento o espécimen a ensayar. Las zonas cercanas a los bordes y extremos no presentan buen confinamiento, lo que no contribuye al registro de velocidades.
- En el caso de registro de velocidades en dirección horizontal, se recomienda tener en consideración la influencia del piso del ambiente donde se realiza el ensayo. El contacto de la base del espécimen con el piso del ambiente tiende a alterar las velocidades registradas.

- En los ensayos de propagación de onda en el tiempo, se evidenció la influencia del sobrecimiento de piedra en los registros de velocidad. Cuanto más cercano al sobrecimiento, la velocidad registrada tiende a elevarse. Es importante tener esta consideración para simulaciones de especímenes en futuras investigaciones.
- La evaluación del módulo de elasticidad en mampostería en adobe depende significativamente de la forma de medición de la deformación, es recomendable realizar los ensayos con sensores de desplazamientos y/o indicadores localizados independientemente para obtener valores representativos de las deformaciones instantáneas y el módulo de elasticidad.

08. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., Saucedo, C., Montesinos, M., Ramírez, E., Morales, R., & Uceda, S. (2015). Caracterización Mecánica de las Unidades de Adobe del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna Mediante Ensayos de Ultrasonido. *15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra SIACOT - ECUADOR*, 1-11.
- Arroyo Matus, R., Sánchez Tizapa, S., & Catalán Quiroz, P. (2013). Caracterización Experimental de las Propiedades Mecánicas de la Mampostería de Adobe del Sur de México. *Ingeniería*, 1-12.
- ASTM INTERNACIONAL. (2002). ASTM C 597-02 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *ASTM INTERNATIONAL*, 1-4.
- Benítez Herreros, J. A. (2011). Estudio de la Evolución de la Velocidad de Ultrasonido en Probetas de Hormigón con Distintos Grados de Humedad. (*Tesis de Maestría*). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Briceño Meléndez, C. P. (2016). Diagnóstico Estructural y Análisis Sísmico de la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuayllillas. (*Tesis de Maestría*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Comité Europeo de Normalización CEN. (1999). Norma UNE-EN 1052-1. *Métodos de Ensayo para Fábrica de Albañilería. Parte 1: Determinación de la Resistencia a Compresión*. Madrid, España: AENOR.
- Contreras Urrutia, L. (2014). Determinación de Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad de Suelos Cohesivos Mediante Velocidad de Ultrasonido. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Bio-Bio, Concepción.
- Delgado Salvador Canales, E. F. (2006). Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado. (*Tesis de Pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- García Medina, V. (2013). Ultrasonidos Técnica No Destructiva para el Estudio de Monumentos. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Sevilla, Sevilla.

- Garrocho López, F. (2017). Ensayos de Compresión Diagonal y Compresión Simple Sobre Mampostería de Adobe. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Gómez Bermudo, J. (2016). Caracterización Experimental del Comportamiento del Adobe Frente a Cargas de Compresión Simple. (*Tesis de Fin de Grado*). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill/Interamericana.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. (2017). *Perú: Perfil Sociodemográfico, 2017*. Lima: INEI.
- Liberatore, D., Spera, G., Mucciarelli, M., Gallipoli, M. R., Santarsiero, D., & Tancredi, C. (2006). *Typological and Experimental Investigation on the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy)*. Potenza: P.B. Lourenço, P. Roca, C. Modena, S. Agrawal (Eds.).
- Marques, R., Aguilar, R., Briceño Melendez, C. P., & Perucchio, R. (2014). Study on the Seismic Behaviour of St. Peter the Apostle Church of Andahuayllillas in Cusco, Perú. *ResearchGate*, 1-14.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Norma E. 080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Lima: El Peruano.
- Montesinos Escobar, M. (2016). Caracterización Mecánica de Componentes Estructurales en Construcciones Arqueológicas de Tierra: El caso de Huaca de la Luna. (*Tesis de Maestría*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Quintana Rodríguez, J. A., Doyle, J. F., Carrión Viramontes, F. J., Hernández Guzmán, A., Crespo Sánchez, S. E., & López López, J. A. (2012). *Detección de Daño en Estructuras Mediante Análisis de Propagación de Ondas*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
- Quispe Herrera, E. E. (2011). *Andahuayllillas: Siguiendo los Pasos del Arte Mestizo*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Carrera Profesional de Arqueología.

- Rimoldi, C., & Mundo, L. M. (2012). Ensayo No Destructivo por Método de Ultrasonido. *Cátedra: Ensayos No Destructivos*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- Santos De La Cruz, E., Cancino Vera, N., Yenque Dedios, J., Ramírez Morales, D., & Palomino Pérez, M. (2005). El Ultrasonido y su Aplicación. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM*, 1-4.
- Saucedo Abanto, C. G. (2016). Construcción de Tomografías Usando Metodologías Sónicas Como Herramientas Para el Diagnóstico Estructural de Monumentos Históricos. (*Tesis de Maestría*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Vargas Díaz, L. (2016). Determinación de las Propiedades Mecánicas de la Mampostería de Adobe, Ladrillo y Piedra en Edificaciones Históricas Peruanas. (*Tesis de Pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Vargas Neumann, J., Aguilar, R., Gonzales Paliza, E., & Briceño Melendez, C. P. (2013). Intervención Estructural en la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas en Cusco, Perú. *ResearchGate*, 1-11.

09. ANEXOS

Anexo A. Procesamiento de datos en ensayo de propagación de ondas en muretes. ...	142
Anexo B. Procesamiento de datos en ensayo de propagación de ondas en muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas.....	146
Anexo C. Módulo de elasticidad dinámico para ondas S en muretes	148
Anexo D. Módulo de elasticidad dinámico para ondas S en muros del templo	149
Anexo E. Formato de hoja de cálculo de los ensayos de compresión en pilas	150
Anexo F. Formato de hoja de cálculo de los ensayos de compresión en muretes	153
Anexo G. Panel fotográfico	155
Anexo H. Plano de muretes	163

Anexo A. Procesamiento de datos en ensayo de propagación de ondas en muretes.

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES 									
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"									
TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA									
ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES									
MATERIAL : TIERRA									
UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES-IC-UNSAAC									
FECHA : 05.06.18 - 06.06.18									
MURETE	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	POSICIÓN	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{X} (m/s)	\bar{X} (m/s)
M1 (e = 1.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	51.60	8.213	6.244	1.969	262.06	261.80	277.93
				8.222	6.253	1.969	262.06		
				8.327	6.352	1.975	261.27		
		CENTRAL	52.40	9.549	8.118	1.431	366.18	331.64	
				9.552	7.867	1.685	310.98		
				9.479	7.830	1.649	317.77		
	DERECHA	50.60	8.378	6.587	1.791	282.52	240.34		
			8.612	6.513	2.099	241.07			
			9.089	6.526	2.563	197.42			
	HORIZONTAL	SUPERIOR	50.70	11.360	9.732	1.628	311.43	298.78	
				11.340	9.694	1.646	308.02		
				11.590	9.759	1.831	276.90		
		MEDIA	51.00	11.470	9.554	1.916	266.18	266.02	
				11.830	9.812	2.018	252.73		
				11.620	9.793	1.827	279.15		
INFERIOR	52.50	10.480	9.555	0.925	567.57	704.22			
		10.350	9.687	0.663	791.86				
		10.410	9.713	0.697	753.23				
M2 (e = 1.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	49.30	8.386	6.781	1.605	307.17	303.73	304.63
				11.090	9.729	1.361	362.23		
				8.603	6.564	2.039	241.79		
		CENTRAL	51.60	7.185	5.854	1.331	387.68	306.66	
				7.910	5.836	2.074	248.79		
				7.927	6.107	1.820	283.52		
	DERECHA	48.20	9.626	7.904	1.722	279.91	303.49		
			9.157	7.824	1.333	361.59			
			7.942	6.150	1.792	268.97			
	HORIZONTAL	SUPERIOR	49.50	9.426	8.096	1.330	372.18	360.08	
				9.179	7.822	1.357	364.78		
				11.200	9.758	1.442	343.27		
		MEDIA	50.50	8.382	7.325	1.057	477.77	544.62	
				7.973	7.308	0.665	759.40		
				8.259	6.986	1.273	396.70		
INFERIOR	50.40	9.933	8.584	1.349	373.61	437.60			
		9.522	8.490	1.032	488.37				
		9.545	8.427	1.118	450.81				
M3 (e = 1.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	47.70	7.746	5.371	2.375	200.84	218.03	309.50
				7.838	5.662	2.176	219.21		
				7.318	5.280	2.038	234.05		
		CENTRAL	51.50	8.148	6.591	1.557	330.76	366.29	
				7.453	6.304	1.149	448.22		
				5.760	4.150	1.610	319.88		
	DERECHA	50.30	8.154	6.623	1.531	328.54	344.19		
			10.350	9.015	1.335	376.78			
			7.207	5.670	1.537	327.26			
	SUPERIOR	50.50	8.578	7.977	0.601	840.27	537.15		
			8.982	7.725	1.257	401.75			
			8.869	7.502	1.367	369.42			

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES 										
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"										
TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA										
ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES										
MATERIAL : TIERRA										
UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES-IC-UNSAAC										
FECHA : 05.06.18 - 06.06.18										
MURETE	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	POSICIÓN	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{X} (m/s)	\bar{X} (m/s)	
M4 (e = 2.00cm)	HORIZONTAL	MEDIA	49.00	10.590	8.629	1.961	249.87	265.09	391.44	
				10.450	8.575	1.875	261.33			
				6.429	4.704	1.725	284.06			
		INFERIOR	48.70	7.086	5.404	1.682	289.54			
				9.258	8.262	0.996	488.96			
				7.253	5.811	1.442	337.73			
	VERTICAL	IZQUIERDA	54.40	54.40	9.178	7.410	1.768	307.69	297.01	303.41
					9.082	7.106	1.976	275.30		
					8.350	6.584	1.766	308.04		
			CENTRAL	48.50	8.463	6.817	1.646	294.65		
					8.252	6.840	1.412	343.48		
					8.262	6.786	1.476	328.59		
DERECHA		53.50	53.50	9.773	7.752	2.021	264.72			
				9.756	8.113	1.643	325.62			
				8.980	7.087	1.893	282.62			
		HORIZONTAL	SUPERIOR	59.80	11.210	9.753	1.457	410.43	291.68	355.44
					12.610	9.992	2.618	228.42		
					12.420	9.888	2.532	236.18		
MEDIA	55.50	55.50	9.752	8.156	1.596	347.74	408.06	366.58		
			11.110	9.798	1.312	423.02				
			9.290	8.066	1.224	453.43				
	INFERIOR	55.00	10.130	8.756	1.374	400.29				
			10.220	8.600	1.620	339.51				
			10.210	8.682	1.528	359.95				
M5 (e = 2.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	55.00	7.755	5.139	2.616	210.24	211.11	281.36	
				8.557	5.958	2.599	211.62			
				7.684	5.083	2.601	211.46			
				8.178	6.575	1.603	267.00			
		CENTRAL	42.80	7.455	6.297	1.158	369.60	297.58		
				5.815	4.144	1.671	256.13			
				8.156	6.526	1.630	343.56			
				10.360	8.715	1.645	340.43			
		DERECHA	56.00	7.208	5.470	1.738	322.21	335.40		
				8.539	7.671	0.868	593.32			
				8.842	7.727	1.115	461.88			
				8.865	7.507	1.358	379.23			
	HORIZONTAL	SUPERIOR	51.50	10.590	8.627	1.963	277.64	478.15	414.18	
				10.460	8.575	1.885	289.12			
				6.421	4.686	1.735	314.12			
				6.659	5.405	1.254	426.63			
		MEDIA	54.50	9.137	8.261	0.876	610.73	293.63		
				7.250	5.823	1.427	374.91			
				10.480	7.998	2.482	225.62			
				9.960	7.422	2.538	220.65			
		INFERIOR	53.50	9.556	7.313	2.243	249.67	470.76		
				6.653	4.738	1.915	276.76			
				12.300	10.131	2.169	244.35			
				11.940	9.981	1.959	270.55			
VERTICAL	IZQUIERDA	56.00	10.480	7.998	2.482	225.62	231.98	244.41		
			9.960	7.422	2.538	220.65				
			9.556	7.313	2.243	249.67				
			6.653	4.738	1.915	276.76				
	CENTRAL	53.00	12.300	10.131	2.169	244.35	263.89			
			11.940	9.981	1.959	270.55				



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"

TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
 BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES

MATERIAL : TIERRA

UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES-IC-UNSAAC

FECHA : 05.06.18 - 06.06.18

MURETE	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	POSICIÓN	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{X} (m/s)	\bar{X} (m/s)
M6 (e = 2.00cm)		DERECHA	45.00	8.127	6.148	1.979	227.39	237.36	308.99
				6.913	5.109	1.804	249.45		
				8.008	6.095	1.913	235.23		
	HORIZONTAL	SUPERIOR	54.50	9.904	7.353	2.551	213.64	276.67	
				11.330	9.727	1.603	339.99		
				9.634	7.662	1.972	276.37		
		MEDIA	57.00	9.638	7.722	1.916	297.49	309.97	
				9.659	7.677	1.982	287.59		
				9.453	7.800	1.653	344.83		
		INFERIOR	54.50	9.440	7.839	1.601	340.41	340.35	
				8.845	7.448	1.397	390.12		
				8.985	7.109	1.876	290.51		
M7 (e = 3.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	55.60	8.638	6.384	2.254	246.67	243.90	
				7.981	5.959	2.022	274.98		
				8.827	6.180	2.647	210.05		
		CENTRAL	51.80	10.260	8.211	2.049	252.81	249.47	
				10.480	7.970	2.510	206.37		
				9.955	8.164	1.791	289.22		
	DERECHA	54.40	9.592	7.335	2.257	241.03	237.42		
			9.788	7.407	2.381	228.48			
			9.452	7.211	2.241	242.75			
	HORIZONTAL	SUPERIOR	49.50	11.070	9.752	1.318	375.57	299.05	
				11.720	9.635	2.085	237.41		
				11.440	9.698	1.742	284.16		
MEDIA		55.00	11.110	9.820	1.290	426.36	437.93		
			10.930	9.801	1.129	487.16			
			11.060	9.686	1.374	400.29			
INFERIOR	56.30	9.919	7.604	2.315	243.20	247.54			
		9.705	7.394	2.311	243.62				
		9.507	7.306	2.201	255.79				
M8 (e = 3.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	57.40	9.116	7.114	2.002	286.71	279.50	
				9.257	7.175	2.082	275.70		
				9.308	7.229	2.079	276.09		
		CENTRAL	48.00	8.317	6.718	1.599	300.19	292.25	
				8.053	6.360	1.693	283.52		
				8.870	7.232	1.638	293.04		
	DERECHA	52.40	8.232	6.279	1.953	268.31	252.52		
			8.071	5.959	2.112	248.11			
			8.651	6.478	2.173	241.14			
	HORIZONTAL	SUPERIOR	45.00	11.130	9.463	1.667	269.95	260.32	
				11.120	9.310	1.810	248.62		
				11.220	9.505	1.715	262.39		
MEDIA		55.80	11.440	9.566	1.874	297.76	379.00		
			10.610	9.100	1.510	369.54			
			10.360	9.172	1.188	469.70			
INFERIOR		57.70	10.980	8.920	2.060	280.10	266.06		
			11.680	9.247	2.433	237.16			
			11.220	9.166	2.054	280.92			



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"

TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES

MATERIAL : TIERRA

UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES-IC-UNSAAC

FECHA : 05.06.18 - 06.06.18

MURETE	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	POSICIÓN	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{X} (m/s)	\bar{X} (m/s)
M9 (e = 3.00cm)	VERTICAL	IZQUIERDA	53.20	8.638	6.365	2.273	234.05	232.96	248.21
				7.980	5.959	2.021	263.24		
				8.820	6.181	2.639	201.59		
		CENTRAL	54.00	9.592	7.342	2.250	240.00	258.33	
				9.785	7.608	2.177	248.05		
				9.313	7.431	1.882	286.93		
	DERECHA	55.00	10.260	8.108	2.152	255.58	253.34		
			10.480	7.871	2.609	210.81			
			9.733	7.860	1.873	293.65			
		HORIZONTAL	SUPERIOR	54.30	11.430	9.744	1.686	322.06	329.12
					11.160	9.635	1.525	356.07	
					11.440	9.684	1.756	309.23	
	MEDIA		54.60	11.120	9.794	1.326	411.76	425.92	
				10.930	9.806	1.124	485.77		
				11.070	9.634	1.436	380.22		
	INFERIOR	51.30	9.839	7.607	2.232	229.84	238.73		
			9.450	7.402	2.048	250.49			
			9.501	7.326	2.175	235.86			

Anexo B. Procesamiento de datos en ensayo de propagación de ondas en muros del Templo San Pedro Apóstol de Andahuaylillas

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES 									
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL, ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"									
TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA									
ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MUROS DEL TEMPLO									
MATERIAL : TIERRA									
UBICACIÓN : TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO									
FECHA : 04.08.18 - 05.08.18									
SECTOR	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO "f _s "	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{x} (m/s)	\bar{s} (m/s)
01	VERTICAL	10	232.60	42.770	37.180	5.590	416.10	477.26	557.54
				40.560	36.240	4.320	538.43		
				20.660	16.480	4.180	556.46		
		20	232.60	20.670	16.760	3.910	594.88	575.67	
				12.860	9.181	3.679	632.24		
				12.920	9.089	3.831	607.15		
	HORIZONTAL	10	323.50	48.820	37.040	11.780	274.62	442.82	
				50.900	36.200	14.700	220.07		
				47.800	43.920	3.880	833.76		
		20	323.50	29.130	16.270	12.860	251.56	261.47	
				30.610	18.690	11.920	271.39		
				16.060	9.675	6.385	506.66		
40	323.50	13.170	9.574	3.596	899.61	703.13			
		43.690	38.560	5.130	430.80		422.33		
		44.010	38.670	5.340	413.86				
02	VERTICAL	10	221.00	24.170	18.870	5.300		416.98	414.26
				24.140	18.770	5.370	411.55		
				13.650	8.925	4.725	467.72		
		20	221.00	14.050	9.137	4.913	449.83	458.78	
				45.580	39.300	6.280	435.35		
				44.060	39.030	5.030	543.54		
	HORIZONTAL	10	273.40	43.710	38.490	5.220	523.75	500.88	
				22.660	18.410	4.250	643.29		
				23.730	18.570	5.160	529.84		
		20	273.40	24.090	18.600	5.490	498.00	557.05	
				13.670	8.800	4.870	561.40		
				14.490	8.693	5.797	471.62		
40	273.40	41.430	38.730	2.700	722.22	516.51			
		42.050	39.120	2.930	665.53				
		21.820	18.410	3.410	571.85				
03	VERTICAL	10	195.00	21.710	18.050	3.660	532.79	552.32	
				12.610	9.230	3.380	576.92		
				12.400	8.600	3.800	513.16		
		20	195.00	41.430	38.730	2.700	722.22	693.88	
				42.050	39.120	2.930	665.53		
				21.820	18.410	3.410	571.85		
	HORIZONTAL	10	236.80	43.900	37.610	6.290	376.47	379.20	
				44.070	37.870	6.200	381.94		
				26.530	19.170	7.360	321.74		
		20	236.80	25.520	18.130	7.390	320.43	321.09	
				14.780	7.706	7.074	334.75		
				14.050	7.400	6.650	356.09		
40	236.80	40.540	38.130	2.410	826.97	345.42			
		40.200	36.780	3.420	582.75				
		23.720	19.690	4.030	494.54				
04	VERTICAL	10	199.30	23.490	19.580	3.910	509.72	502.13	
				13.570	9.484	4.086	487.76		
				14.090	9.526	4.564	436.68		
		20	199.30	49.340	38.050	11.290	416.74	704.86	
				51.550	37.850	13.700	343.43		
				23.490	19.580	3.910	509.72		
	HORIZONTAL	10	470.50	34.120	19.620	14.500	324.48	380.09	
				29.260	17.590	11.670	403.17		
				21.580	7.876	13.704	343.33		
		20	470.50	20.510	7.983	12.527	375.59	363.83	
				42.120	39.360	2.760	739.13		
				22.170	19.260	2.910	701.03		
40	470.50	22.060	19.380	2.680	761.19	789.32			
		13.890	9.836	4.054	503.21				
		12.220	9.220	3.000	680.00				
05	VERTICAL	10	204.00	41.850	39.420	2.430	839.51	789.32	
				42.120	39.360	2.760	739.13		
				22.170	19.260	2.910	701.03		
		20	204.00	22.060	19.380	2.680	761.19	731.11	
				13.890	9.836	4.054	503.21		
				12.220	9.220	3.000	680.00		
	40	204.00	41.850	39.420	2.430	839.51	591.60		
			42.120	39.360	2.760	739.13			
			22.170	19.260	2.910	701.03			



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL, ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"

TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

ENSAYO : PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MUROS DEL TEMPLO

MATERIAL : TIERRA

UBICACIÓN : TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO

FECHA : 04.08.18 - 05.08.18

SECTOR	DIRECCIÓN DE PROPAGACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO "f _s "	DISTANCIA ENTRE GEÓFONOS (cm)	TIEMPO LLEGADA MATLAB	TIEMPO SALIDA MATLAB	ΔT MATLAB (ms)	VELOCIDAD MATLAB (m/s)	\bar{X} (m/s)	\bar{X} (m/s)
05	HORIZONTAL	10	439.20	49.410	39.330	10.080	435.71	432.94	403.69
				47.150	36.940	10.210	430.17		
				30.200	19.700	10.500	418.29		
	20	439.20	31.030	19.410	11.620	377.97	398.13		
			21.800	9.557	12.243	358.74			
			20.290	9.344	10.946	401.24			
06	VERTICAL	10	261.00	43.470	38.600	4.870	535.93	567.51	601.51
				42.800	37.890	4.910	531.57		
				42.410	38.300	4.110	635.04		
		20	261.00	22.570	18.520	4.050	644.44	655.98	
				22.860	18.950	3.910	667.52		
				13.630	9.368	4.262	612.39		
	40	261.00	13.470	8.722	4.748	549.71	581.05		
			47.230	38.790	8.440	359.00		408.35	
			45.420	38.800	6.620	457.70			
	HORIZONTAL	20	303.00	27.130	18.850	8.280	365.94		
				27.670	18.830	8.840	342.76		
				16.380	9.302	7.078	428.09		
40		303.00	18.860	9.468	9.392	322.61	375.35		
			42.300	38.240	4.060	603.45		654.75	
			41.860	38.390	3.470	706.05			
07	VERTICAL	10	245.00	20.290	18.130	2.160	1134.26		905.53
				21.940	18.320	3.620	676.80		
				12.310	8.565	3.745	654.21		
	20	245.00	12.320	8.196	4.124	594.08	624.14		
			48.000	38.830	9.170	328.24			
			46.220	38.760	7.460	403.49			
HORIZONTAL	20	301.00	23.380	15.630	7.750	388.39	387.14	373.10	
			26.320	18.520	7.800	385.90			
			13.720	5.718	8.002	376.16			
40	301.00	13.470	5.025	8.445	356.42	366.29			
		39.110	37.240	1.870	885.03		856.26		
		40.130	38.130	2.000	827.50				
08	VERTICAL	10	165.50	18.840	17.130	1.710		967.84	988.49
				21.210	19.570	1.640	1009.15		
				9.934	7.668	2.266	730.36		
	20	165.50	8.621	6.204	2.417	684.73	707.55		
			44.900	38.180	6.720	376.49			
			44.930	38.240	6.690	378.18			
HORIZONTAL	20	253.00	25.370	17.100	8.270	305.93	349.09		
			23.610	17.160	6.450	392.25			
			13.540	6.933	6.607	382.93			
40	253.00	13.950	7.052	6.898	366.77	374.85			
		44.430	39.630	4.800	504.17		507.36		
		44.400	39.660	4.740	510.55				
09	VERTICAL	10	242.00	23.010	19.230	3.780		640.21	552.80
				24.470	19.270	5.200	465.38		
				13.390	9.764	3.626	667.40		
	20	242.00	13.310	9.009	4.301	562.66	615.03		
			48.820	39.540	9.280	292.56			
			48.920	39.630	9.290	292.25			
HORIZONTAL	10	271.50	57.480	38.670	18.810	144.34	292.41		
			58.110	38.410	19.700	137.82			
			19.600	8.826	10.774	252.00			
40	271.50	19.690	8.736	10.954	247.85	249.93			

 <div style="display: inline-block; text-align: center; vertical-align: middle;"> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES</p> </div> 																																																												
<p>TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"</p> <p>TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA</p> <p>CÁLCULO : MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO</p>																																																												
<p>MATERIAL : TIERRA</p> <p>UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES-IC-UNSAAC</p> <p>FECHA : 20.07.18</p>																																																												
<p>MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO "ONDAS S"</p> $V_s = \sqrt{\frac{E_d}{\rho 2(1 + \mu)}}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>MURETE</th> <th>V_s (m/s)</th> <th>DENSIDAD "ρ" (Kg/m³)</th> <th>MÓDULO DE POISSON "μ"</th> <th>E_d (N/m²)</th> <th>E_d (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M1</td><td>423.00</td><td>1535.20</td><td>0.20</td><td>659277428</td><td>659.28</td></tr> <tr><td>M2</td><td>447.43</td><td>1581.09</td><td>0.20</td><td>759662334</td><td>759.66</td></tr> <tr><td>M3</td><td>391.44</td><td>1559.18</td><td>0.20</td><td>573362144</td><td>573.36</td></tr> <tr><td>M4</td><td>355.44</td><td>1716.24</td><td>0.20</td><td>520383760</td><td>520.38</td></tr> <tr><td>M5</td><td>414.18</td><td>1698.20</td><td>0.20</td><td>699151766</td><td>699.15</td></tr> <tr><td>M6</td><td>308.99</td><td>1729.14</td><td>0.20</td><td>396228014</td><td>396.23</td></tr> <tr><td>M7</td><td>328.17</td><td>1835.11</td><td>0.20</td><td>474325666</td><td>474.33</td></tr> <tr><td>M8</td><td>301.79</td><td>1862.91</td><td>0.20</td><td>407207023</td><td>407.21</td></tr> <tr><td>M9</td><td>331.26</td><td>1836.75</td><td>0.20</td><td>483712826</td><td>483.71</td></tr> </tbody> </table>	MURETE	V _s (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)	M1	423.00	1535.20	0.20	659277428	659.28	M2	447.43	1581.09	0.20	759662334	759.66	M3	391.44	1559.18	0.20	573362144	573.36	M4	355.44	1716.24	0.20	520383760	520.38	M5	414.18	1698.20	0.20	699151766	699.15	M6	308.99	1729.14	0.20	396228014	396.23	M7	328.17	1835.11	0.20	474325666	474.33	M8	301.79	1862.91	0.20	407207023	407.21	M9	331.26	1836.75	0.20	483712826	483.71
MURETE	V _s (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)																																																							
M1	423.00	1535.20	0.20	659277428	659.28																																																							
M2	447.43	1581.09	0.20	759662334	759.66																																																							
M3	391.44	1559.18	0.20	573362144	573.36																																																							
M4	355.44	1716.24	0.20	520383760	520.38																																																							
M5	414.18	1698.20	0.20	699151766	699.15																																																							
M6	308.99	1729.14	0.20	396228014	396.23																																																							
M7	328.17	1835.11	0.20	474325666	474.33																																																							
M8	301.79	1862.91	0.20	407207023	407.21																																																							
M9	331.26	1836.75	0.20	483712826	483.71																																																							

 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> <p>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES</p> </div> 																																																																																																																								
<p>TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"</p> <p>TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA</p> <p>CÁLCULO : MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO EN MUROS</p>																																																																																																																								
<p>MATERIAL : TIERRA</p> <p>UBICACIÓN : TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO</p> <p>FECHA : 04.08.18 - 05.08.18</p>																																																																																																																								
<p>MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO "ONDAS P"</p> $V_p = \sqrt{\frac{E_d(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>SECTOR</th> <th>V_p (m/s)</th> <th>DENSIDAD "ρ" (Kg/m³)</th> <th>MÓDULO DE POISSON "μ"</th> <th>E_d (N/m²)</th> <th>E_d (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td>619.69</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>589620140.63</td><td>589.62</td></tr> <tr><td>02</td><td>458.78</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>323160396.41</td><td>323.16</td></tr> <tr><td>03</td><td>545.04</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>456115060.28</td><td>456.12</td></tr> <tr><td>04</td><td>462.22</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>328031621.78</td><td>328.03</td></tr> <tr><td>05</td><td>591.60</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>537375846.46</td><td>537.38</td></tr> <tr><td>06</td><td>581.05</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>518369189.33</td><td>518.37</td></tr> <tr><td>07</td><td>624.14</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>598118446.87</td><td>598.12</td></tr> <tr><td>08</td><td>707.55</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>768649050.03</td><td>768.65</td></tr> <tr><td>09</td><td>615.03</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>580778938.44</td><td>580.78</td></tr> </tbody> </table> <p>MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO "ONDAS S"</p> $V_s = \sqrt{\frac{E_d}{\rho 2(1+\mu)}}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>SECTOR</th> <th>V_s (m/s)</th> <th>DENSIDAD "ρ" (Kg/m³)</th> <th>MÓDULO DE POISSON "μ"</th> <th>E_d (N/m²)</th> <th>E_d (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td>703.13</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>2024235975.29</td><td>2024.24</td></tr> <tr><td>02</td><td>516.51</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>1092301964.18</td><td>1092.30</td></tr> <tr><td>03</td><td>345.42</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>488514029.29</td><td>488.51</td></tr> <tr><td>04</td><td>359.46</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>529036605.10</td><td>529.04</td></tr> <tr><td>05</td><td>379.99</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>591190905.54</td><td>591.19</td></tr> <tr><td>06</td><td>375.35</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>576847212.15</td><td>576.85</td></tr> <tr><td>07</td><td>366.29</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>549332888.88</td><td>549.33</td></tr> <tr><td>08</td><td>374.85</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>575308582.41</td><td>575.31</td></tr> <tr><td>09</td><td>249.93</td><td>1705.98</td><td>0.20</td><td>255743959.39</td><td>255.74</td></tr> </tbody> </table>	SECTOR	V _p (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)	01	619.69	1705.98	0.20	589620140.63	589.62	02	458.78	1705.98	0.20	323160396.41	323.16	03	545.04	1705.98	0.20	456115060.28	456.12	04	462.22	1705.98	0.20	328031621.78	328.03	05	591.60	1705.98	0.20	537375846.46	537.38	06	581.05	1705.98	0.20	518369189.33	518.37	07	624.14	1705.98	0.20	598118446.87	598.12	08	707.55	1705.98	0.20	768649050.03	768.65	09	615.03	1705.98	0.20	580778938.44	580.78	SECTOR	V _s (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)	01	703.13	1705.98	0.20	2024235975.29	2024.24	02	516.51	1705.98	0.20	1092301964.18	1092.30	03	345.42	1705.98	0.20	488514029.29	488.51	04	359.46	1705.98	0.20	529036605.10	529.04	05	379.99	1705.98	0.20	591190905.54	591.19	06	375.35	1705.98	0.20	576847212.15	576.85	07	366.29	1705.98	0.20	549332888.88	549.33	08	374.85	1705.98	0.20	575308582.41	575.31	09	249.93	1705.98	0.20	255743959.39	255.74
SECTOR	V _p (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)																																																																																																																			
01	619.69	1705.98	0.20	589620140.63	589.62																																																																																																																			
02	458.78	1705.98	0.20	323160396.41	323.16																																																																																																																			
03	545.04	1705.98	0.20	456115060.28	456.12																																																																																																																			
04	462.22	1705.98	0.20	328031621.78	328.03																																																																																																																			
05	591.60	1705.98	0.20	537375846.46	537.38																																																																																																																			
06	581.05	1705.98	0.20	518369189.33	518.37																																																																																																																			
07	624.14	1705.98	0.20	598118446.87	598.12																																																																																																																			
08	707.55	1705.98	0.20	768649050.03	768.65																																																																																																																			
09	615.03	1705.98	0.20	580778938.44	580.78																																																																																																																			
SECTOR	V _s (m/s)	DENSIDAD "ρ" (Kg/m ³)	MÓDULO DE POISSON "μ"	E _d (N/m ²)	E _d (MPa)																																																																																																																			
01	703.13	1705.98	0.20	2024235975.29	2024.24																																																																																																																			
02	516.51	1705.98	0.20	1092301964.18	1092.30																																																																																																																			
03	345.42	1705.98	0.20	488514029.29	488.51																																																																																																																			
04	359.46	1705.98	0.20	529036605.10	529.04																																																																																																																			
05	379.99	1705.98	0.20	591190905.54	591.19																																																																																																																			
06	375.35	1705.98	0.20	576847212.15	576.85																																																																																																																			
07	366.29	1705.98	0.20	549332888.88	549.33																																																																																																																			
08	374.85	1705.98	0.20	575308582.41	575.31																																																																																																																			
09	249.93	1705.98	0.20	255743959.39	255.74																																																																																																																			

Anexo E. Formato de hoja de cálculo de los ensayos de compresión en pilas

 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES </div> 
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL, ANDAHUAYLILLAS - CUSCO" TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA ENSAYO : COMPRESIÓN DE PILAS DE ADOBE Y CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD
PILA : 1 UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL FECHA : 06/06/18

Altura pila:	H =	479.00 mm
Seccion:	A=	512 cm2

	L1
P1	359.25

tiempo en segundos(s)	L mm	ΔL_1 mm (dial1)	CARGA Kg	ESFUERZO (Kg/cm2)	$\epsilon = \Delta L / L_1 \times 10^{-3}$ mm/mm	E (kg/cm2) modulo de elasticidad	E (MPa) modulo de elasticidad
0	478	0	0.43	0.00	0.00		0.00
0.5	478	0	0.58	0.00	0.00		0.00
1	478	0.0092	0.72	0.00	0.03	54.83	5.38
1.5	478	0.0184	0.86	0.00	0.05	32.90	3.23
2	478	0.0276	1.01	0.00	0.08	25.59	2.51
2.5	478	0.0368	1.15	0.00	0.10	21.93	2.15
3	478	0.046	1.29	0.00	0.13	19.74	1.94
3.5	478	0.0552	54.21	0.11	0.15	689.04	67.57
4	478	0.0644	108.41	0.21	0.18	1181.20	115.84
4.5	478	0.0736	144.22	0.28	0.20	1374.87	134.83
5	478	0.0828	171.25	0.33	0.23	1451.18	142.31
5.5	478	0.092	183.61	0.36	0.26	1400.37	137.33
6	478	0.1012	188.21	0.37	0.28	1304.96	127.97
6.5	478	0.1104	189.94	0.37	0.31	1207.18	118.38
7	478	0.1196	212.23	0.41	0.33	1245.07	122.10
7.5	478	0.1288	292.46	0.57	0.36	1593.22	156.24
8	478	0.1656	377.72	0.74	0.46	1600.44	156.95
8.5	478	0.2024	402.74	0.79	0.56	1396.18	136.92
9	478	0.2392	482.11	0.94	0.67	1414.20	138.69
9.5	478	0.276	550.70	1.08	0.77	1400.00	137.29
10	478	0.3128	653.21	1.28	0.87	1465.26	143.69
10.5	478	0.3496	814.68	1.59	0.97	1635.10	160.35
11	478	0.3864	1014.40	1.98	1.08	1842.04	180.64
11.5	478	0.552	1184.07	2.31	1.54	1505.10	147.60
12	478	0.7728	1420.59	2.77	2.15	1289.82	126.49
12.5	478	0.7728	1530.16	2.99	2.15	1389.30	136.24
13	478	0.9752	1696.23	3.31	2.71	1220.44	119.68
13.5	478	1.2052	1935.06	3.78	3.35	1126.58	110.48
14	478	1.288	2064.61	4.03	3.59	1124.73	110.30
14.5	478	1.4904	2376.62	4.64	4.15	1118.88	109.72
15	478	1.8124	2581.08	5.04	5.04	999.25	97.99
15.5	478	1.8124	2747.73	5.37	5.04	1063.77	104.32
16	478	2.0792	3051.26	5.96	5.79	1029.70	100.98
16.5	478	2.1896	3204.39	6.26	6.09	1026.85	100.70
17	478	2.4196	3437.32	6.71	6.74	996.79	97.75
17.5	478	2.4656	3451.98	6.74	6.86	982.37	96.34
18	478	2.484	3452.42	6.74	6.91	975.21	95.64
18.5	478	2.5024	3481.60	6.80	6.97	976.22	95.73
19	478	2.99	3922.74	7.66	8.32	920.54	90.27
19.5	478	3.0084	4016.91	7.85	8.37	936.88	91.88
20	478	3.5236	4389.17	8.57	9.81	874.02	85.71
20.5	478	3.5512	4406.57	8.61	9.89	870.67	85.38
21	478	3.7904	4507.80	8.80	10.55	834.46	81.83
21.5	478	4.14	4561.14	8.91	11.52	773.04	75.81
22	478	4.1492	4618.08	9.02	11.55	780.95	76.58
22.5	478	4.1492	4723.47	9.23	11.55	798.77	78.33

 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES </div> 
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL, ANDAHUAYLILLAS - CUSCO" TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA ENSAYO : COMPRESIÓN DE PILAS DE ADOBE Y CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD
PILA : 1 UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL FECHA : 06/06/18

Altura pila:	H =	479.00 mm
Seccion:	A=	512 cm2

	L1
P1	359.25

tiempo en segundos(s)	L mm	ΔL_1 mm (dial1)	CARGA Kg	ESFUERZO (Kg/cm2)	$\epsilon = \Delta L / L_1 \times 10^{-3}$ mm/mm	E (kg/cm2) modulo de elasticidad	E (MPa) modulo de elasticidad
23	478	4.1492	4905.07	9.58	11.55	829.48	81.34
23.5	478	4.5632	5012.05	9.79	12.70	770.68	75.58
24	478	4.5724	5162.59	10.08	12.73	792.23	77.69
24.5	478	5.1428	5338.87	10.43	14.32	728.41	71.43
25	478	5.1612	5350.95	10.45	14.37	727.46	71.34
25.5	478	5.1612	5459.94	10.66	14.37	742.27	72.79
26	478	5.612	5461.66	10.67	15.62	682.86	66.97
26.5	478	5.6212	5532.84	10.81	15.65	690.63	67.73
27	478	6.2652	5649.02	11.03	17.44	632.65	62.04
27.5	478	6.2744	5680.22	11.09	17.47	635.21	62.29
28	478	6.2744	5691.86	11.12	17.47	636.52	62.42
28.5	478	6.8172	5755.85	11.24	18.98	592.42	58.10
29	478	6.8264	5874.33	11.47	19.00	603.80	59.21
29.5	478	7.4336	5885.25	11.49	20.69	555.51	54.48
30	478	7.4612	5998.99	11.72	20.77	564.15	55.32
30.5	478	7.4612	6101.22	11.92	20.77	573.77	56.27
31	478	7.4612	6123.36	11.96	20.77	575.85	56.47
31.5	478	7.4612	6132.99	11.98	20.77	576.75	56.56
32	478	7.7096	6181.45	12.07	21.46	562.58	55.17
32.5	478	7.7188	6203.45	12.12	21.49	563.91	55.30
33	478	7.8292	6277.64	12.26	21.79	562.61	55.17
33.5	478	8.2064	6567.80	12.83	22.84	561.56	55.07
34	478	8.2248	6447.02	12.59	22.89	550.00	53.94
34.5	478	8.2248	6396.26	12.49	22.89	545.67	53.51
35	478	8.2248	6275.20	12.26	22.89	535.34	52.50
35.5	478	8.3812	6222.72	12.15	23.33	520.96	51.09
36	478	8.3812	6178.29	12.07	23.33	517.24	50.72
36.5	478	8.3812	6175.99	12.06	23.33	517.04	50.70
37	478	8.3812	6057.22	11.83	23.33	507.10	49.73
37.5	478	8.3812	5992.37	11.70	23.33	501.67	49.20
38	478	8.3812	5975.69	11.67	23.33	500.28	49.06
38.5	478	8.3812	5964.05	11.65	23.33	499.30	48.96
39	478	8.602	5874.76	11.47	23.94	479.20	46.99
39.5	478	8.602	5826.16	11.38	23.94	475.24	46.60
40	478	8.602	5798.26	11.32	23.94	472.96	46.38
40.5	478	8.602	5781.87	11.29	23.94	471.62	46.25
41	478	8.602	5742.04	11.21	23.94	468.38	45.93
41.5	478	8.602	5710.84	11.15	23.94	465.83	45.68
42	478	8.602	5637.51	11.01	23.94	459.85	45.10
42.5	478	8.602	5618.25	10.97	23.94	458.28	44.94
43	478	8.6848	5560.59	10.86	24.17	449.25	44.06
43.5	478	8.6848	5544.63	10.83	24.17	447.96	43.93
44	478	8.6848	5489.85	10.72	24.17	443.53	43.50
44.5	478	8.6848	5469.14	10.68	24.17	441.86	43.33
45	478	8.6848	5422.27	10.59	24.17	438.07	42.96
45.5	478	8.6848	5356.701	10.46	24.17	432.78	42.44



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



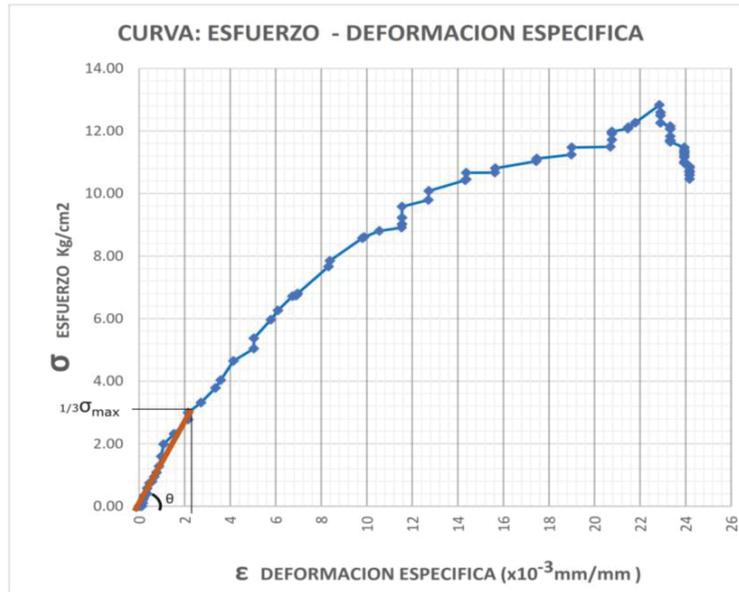
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL, ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"
TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBUSUCA
 BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA
ENSAYO : COMPRESIÓN DE PILAS DE ADOBE Y CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD

PILA : 1
UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
FECHA : 06/06/18

Altura pila:	H =	479.00 mm
Seccion:	A=	512 cm2

	L1
P1	359.25

tiempo en segundos(s)	L mm	ΔL ₁ mm (dial1)	CARGA Kg	ESFUERZO (Kg/cm ²)	ε=ΔL/L1 1x10 ⁻³ mm/mm	E (kg/cm ²) modulo de elasticidad	E (MPa) modulo de elasticidad
-----------------------	------	----------------------------	----------	--------------------------------	----------------------------------	---	-------------------------------



NORMA UNE-EN 1052-1

$$E = \tan\theta = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1/3 \sigma_{max}}{\epsilon_{1/3}}$$

σ _{max} =	10.4275	Kg/cm ²
ε _{max} =	12.728	1x10 ^{^-3} mm/mm
1/3*σ _{max} =	3.4758	Kg/cm ²
ε =	3.078	1x10 ^{^-3} mm/mm

E=	1129.160	Kg/cm ²
	110.73	Mpa

Anexo F. Formato de hoja de cálculo de los ensayos de compresión en muretes

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES 																						
TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APOSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO" TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA ENSAYO : COMPRESIÓN DE MURETES DE ADOBE Y CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD																						
MURETE : 1 UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL FECHA : 07/06/18																						
POSICION DE INICADORES DE DEFORMACION																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 20%;">L1</td> <td style="width: 20%;">L2</td> <td style="width: 20%;">L3</td> <td style="width: 20%;">L4</td> </tr> <tr> <td>M5</td> <td>462.00</td> <td>154.00</td> <td>308.00</td> <td>308.00</td> </tr> </table>														L1	L2	L3	L4	M5	462.00	154.00	308.00	308.00
	L1	L2	L3	L4																		
M5	462.00	154.00	308.00	308.00																		
Altura:	H =	61.60 cm																				
Seccion:	A =	1038.40 cm ²																				
DEFORMACIONES ABSOLUTAS					DEFORMACIONES ESPECIFICAS					MODULO DE ELASTICIDAD POR TRAMOS												
tiempo en segundos(s)	ΔL1 mm (dial1)	ΔL2 mm (dial2)	ΔL3 mm (dial1)	ΔL4 mm (dial2)	CARGA Kg	ESFUERZO (Kg/cm ²)	E1-2=ΔL1/L 1x10-3 mm/mm	E3=ΔL/L 1x10-3 mm/mm	E4=ΔL/L 1x10-3 mm/mm	E 1.2 (kg/cm ²)	E3 (kg/cm ²)	E4 (kg/cm ²)										
0	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00										
0.5	0.00	0.00	0.07	0.05	68.78	0.07	0.00	0.21	0.17	0.00	309.58	386.97										
1	0.27	0.15	0.14	0.11	440.51	0.42	0.38	0.44	0.36	1101.47	944.11	1166.26										
1.5	0.61	0.35	0.29	0.21	765.75	0.73	0.86	0.93	0.70	847.50	783.30	1044.39										
2	0.66	0.37	0.36	0.27	1109.29	1.05	0.93	1.16	0.89	1134.70	907.76	1188.74										
2.5	1.00	0.57	0.53	0.44	1609.30	1.53	1.41	1.71	1.41	1086.48	894.22	1081.07										
3	1.01	0.57	0.53	0.44	1855.24	1.76	1.42	1.73	1.41	1240.11	1018.30	1246.28										
3.5	1.25	0.71	0.65	0.55	2380.44	2.26	1.76	2.11	1.77	1285.67	1071.39	1275.47										
4	1.25	0.71	0.65	0.55	2539.18	2.41	1.76	2.11	1.77	1371.41	1142.84	1360.52										
4.5	1.51	0.86	0.78	0.67	3274.61	3.11	2.12	2.53	2.17	1464.08	1228.20	1430.91										
5	1.54	0.87	0.78	0.67	3448.51	3.28	2.17	2.53	2.17	1511.80	1293.43	1506.90										
5.5	1.78	1.01	0.92	0.80	4202.73	3.99	2.50	2.98	2.60	1594.02	1341.54	1537.86										
6	1.91	1.08	1.00	0.87	4446.66	4.22	2.69	3.25	2.83	1571.75	1299.59	1493.55										
6.5	2.05	1.16	1.05	0.92	5077.23	4.82	2.88	3.42	3.00	1672.07	1410.60	1609.27										
7	2.35	1.33	1.22	1.06	5493.81	5.22	3.31	3.97	3.44	1578.30	1315.25	1516.97										
7.5	2.36	1.34	1.22	1.06	5905.00	5.61	3.32	3.97	3.44	1689.24	1413.69	1630.51										
8	2.58	1.46	1.34	1.15	6084.66	5.78	3.63	4.35	3.74	1592.21	1329.41	1547.23										
8.5	2.59	1.47	1.37	1.15	6385.85	6.07	3.64	4.43	3.74	1664.57	1368.64	1623.82										
9	2.73	1.55	1.37	1.22	6398.12	6.08	3.84	4.45	3.97	1582.24	1364.78	1531.74										
9.5	2.79	1.58	1.48	1.23	6645.44	6.31	3.93	4.79	3.99	1608.06	1317.62	1582.54										
10	2.79	1.58	1.50	1.23	6745.42	6.41	3.93	4.85	3.99	1632.25	1320.00	1606.34										
10.5	2.98	1.69	1.60	1.29	6872.21	6.53	4.19	5.19	4.18	1556.91	1257.34	1562.15										
11	2.99	1.69	1.61	1.29	7050.87	6.70	4.21	5.21	4.18	1592.04	1284.80	1602.76										
11.5	3.20	1.81	1.72	1.37	7242.05	6.88	4.50	5.59	4.45	1527.90	1230.01	1544.79										
12	3.23	1.83	1.75	1.37	7350.43	6.98	4.54	5.68	4.45	1536.36	1229.85	1567.91										
12.5	3.44	1.95	1.90	1.47	7504.53	7.13	4.84	6.18	4.77	1472.81	1152.78	1494.54										
13	3.46	1.96	1.92	1.47	7716.89	7.33	4.87	6.23	4.77	1505.74	1177.37	1536.83										
13.5	3.64	2.06	2.03	1.55	7734.55	7.35	5.12	6.61	5.02	1434.55	1112.20	1462.68										
14	3.64	2.06	2.04	1.55	7977.86	7.58	5.12	6.63	5.02	1479.68	1143.53	1508.69										
14.5	3.82	2.16	2.17	1.63	7990.89	7.59	5.37	7.05	5.28	1412.26	1076.81	1438.62										
15	3.82	2.16	2.19	1.63	8170.93	7.76	5.37	7.11	5.28	1444.08	1091.27	1471.03										
15.5	3.99	2.26	2.31	1.71	8228.06	7.82	5.61	7.49	5.55	1392.22	1043.18	1408.10										
16	3.99	2.26	2.33	1.71	8306.49	7.89	5.61	7.58	5.55	1405.49	1041.39	1421.52										
16.5	4.13	2.34	2.42	1.78	8329.79	7.91	5.81	7.85	5.78	1361.65	1007.82	1368.28										
17	4.13	2.34	2.43	1.78	8364.99	7.95	5.81	7.89	5.78	1367.41	1006.67	1374.06										
17.5	4.13	2.34	2.44	1.78	8472.74	8.05	5.81	7.94	5.78	1385.02	1014.21	1391.76										
18	4.27	2.42	2.55	1.87	8555.05	8.13	6.01	8.27	6.08	1352.63	982.26	1336.97										
18.5	4.27	2.42	2.57	1.87	8755.14	8.32	6.01	8.34	6.08	1384.26	997.60	1368.24										
19	4.37	2.48	2.66	1.95	8772.30	8.33	6.15	8.63	6.33	1355.24	965.34	1316.08										
19.5	4.48	2.54	2.75	2.04	8772.80	8.33	6.30	8.93	6.63	1322.04	933.45	1257.48										
20	4.48	2.54	2.76	2.05	9035.78	8.58	6.30	8.95	6.67	1361.67	959.16	1286.97										
20.5	4.63	2.62	2.91	2.20	9045.05	8.59	6.51	9.45	7.15	1318.90	908.71	1200.89										
21	4.63	2.62	2.94	2.22	9085.02	8.63	6.51	9.54	7.20	1324.73	904.65	1199.12										
21.5	4.63	2.62	2.98	2.25	9098.17	8.64	6.51	9.67	7.30	1326.65	894.09	1183.50										
22	4.77	2.70	3.12	2.37	9167.33	8.71	6.71	10.13	7.70	1297.50	859.59	1130.42										
22.5	4.77	2.70	3.13	2.38	9202.28	8.74	6.71	10.15	7.72	1302.45	861.08	1131.63										
23	4.77	2.70	3.14	2.38	9309.15	8.84	6.71	10.19	7.72	1317.57	867.47	1144.78										
23.5	4.88	2.77	3.31	2.46	9436.44	8.96	6.87	10.74	8.00	1305.48	834.41	1120.63										
24	4.88	2.77	3.32	2.53	9459.75	8.99	6.87	10.78	8.21	1308.71	833.20	1094.51										
24.5	4.88	2.77	3.35	2.53	9465.64	8.99	6.87	10.87	8.21	1309.52	827.24	1095.20										
25	5.01	2.84	3.52	2.72	9487.94	9.01	7.05	11.44	8.82	1278.55	787.89	1021.61										
25.5	4.98	2.82	3.53	2.72	9512.99	9.04	7.01	11.46	8.84	1289.65	788.51	1021.87										
26	4.98	2.82	3.55	2.79	9832.47	9.34	7.01	11.52	9.05	1332.96	810.52	1031.57										
26.5	5.05	2.86	3.76	2.95	9909.40	9.41	7.10	12.20	9.58	1324.76	771.63	982.39										
27	5.02	2.84	3.76	2.95	9546.32	9.07	7.06	12.20	9.58	1283.85	743.36	946.39										
27.5	5.00	2.83	3.76	2.95	9394.10	8.92	7.03	12.20	9.58	1268.43	731.51	931.30										
28	5.00	2.83	3.76	2.95	9295.87	8.83	7.03	12.20	9.58	1255.17	723.86	921.56										
28.5	4.98	2.82	3.76	2.97	9223.21	8.76	7.01	12.22	9.64	1250.36	716.96	908.36										
29	4.98	2.82	3.77	2.97	9165.45	8.71	7.01	12.24	9.64	1242.53	711.24	902.67										
29.5	4.97	2.82	3.77	2.97	9116.96	8.66	6.99	12.24	9.64	1238.44	707.48	897.89										



TESIS : "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS - CUSCO"

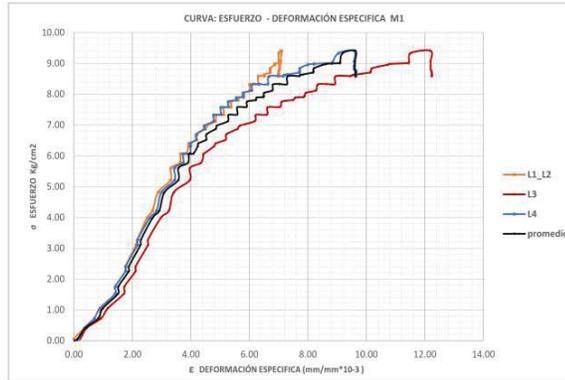
TESISTAS : BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
 BACH. WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

ENSAYO : COMPRESIÓN DE MURETES DE ADOBE Y CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD

MURETE: 1

UBICACIÓN : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

FECHA : 07/06/18



NORMA UNE-EN 1052-1

$$E = \tan \theta = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1/3 \sigma_{max}}{\epsilon_{1/3}}$$

LINEA DE CONTROL L1 Y L2

σmax=	9.412	Kg/cm2
εmax =	7.105	×10 ⁻³ mm/mm
1/3*σmax=	3.137	Kg/cm2
ε =	2.131	×10 ⁻³ mm/mm

E=	1472.038	Kg/cm2
	144.357	Mpa

LOCAL 3

σmax=	9.412	Kg/cm2
εmax =	12.198	×10 ⁻³ mm/mm
1/3*σmax=	3.137	Kg/cm2
ε =	2.532	×10 ⁻³ mm/mm

E=	1238.900	Kg/cm2
	121.494	Mpa

LOCAL 4

σmax=	9.412	Kg/cm2
εmax =	9.581	×10 ⁻³ mm/mm
1/3*σmax=	3.137	Kg/cm2
ε =	2.174	×10 ⁻³ mm/mm

E=	1443.379	Kg/cm2
	141.547	Mpa

Anexo G. Panel fotográfico



ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA



ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



ZARANDEADO Y PREPARACIÓN DE BARRO



PISADO Y MOLDEADO DE UNIDADES DE ADOBE



VOLTEADO Y RUMADO DE UNIDADES DE ADOBE



CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES



MURETES Y PILAS TERMINADAS



PRUEBA DE EQUIPO REGISTRADOR DE DATOS Y GALGA EXTENSIOMÉTRICA EN MADERA Y PILA DE LADRILLO



PRUEBA DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE PROPAGACIÓN ONDAS EN MADERA Y ACERO



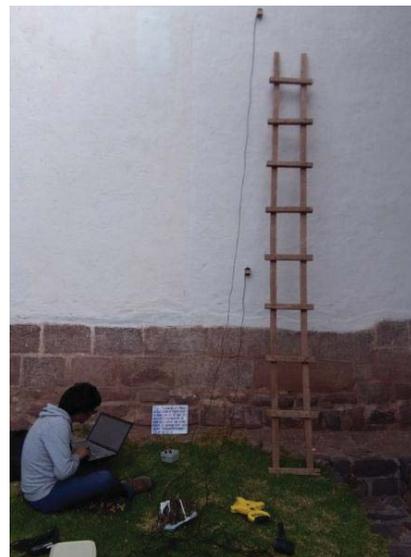
PRUEBA DE CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE PROPAGACIÓN ONDAS EN CONCRETO



PRUEBAS PREVIAS DE ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS



ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MURETES



ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MUROS DEL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYILLAS



ENSAYO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS EN MUROS DEL TEMPLO SAN PEDRO APÓSTOL DE ANDAHUAYLILLAS



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PILAS



PILAS FALLADAS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN MURETES E INSTRUMENTACIÓN



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN MURETES Y REGISTRO DE DATOS



ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN MURETES Y REGISTRO DE DATOS



MURETES FALLADOS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

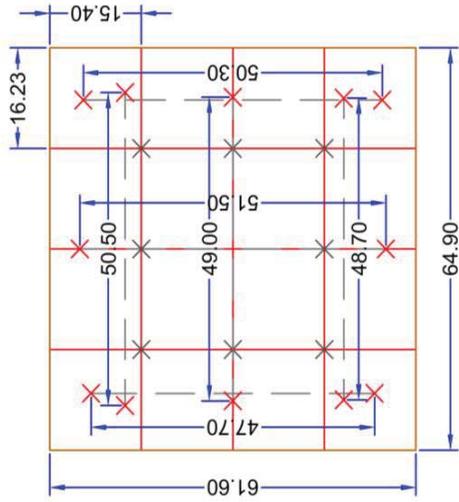


MURETES FALLADOS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

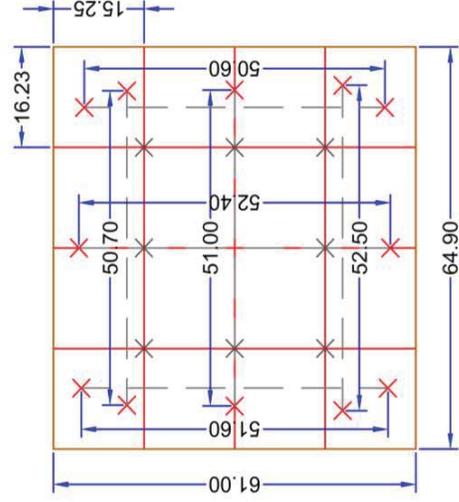


MURETES FALLADOS POR ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL

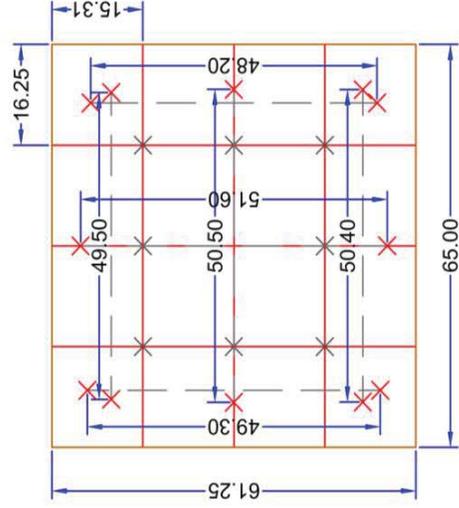
MURETES CON ESPESOR DE JUNTA e = 1.00cm



MURETE 01



MURETE 02



MURETE 03

ESCALA: 1/10

LEYENDA	
LÍNEA DE CONTROL VERTICAL	—
LÍNEA DE CONTROL HORIZONTAL	—
PUNTO DE CONTROL PROPUESTO	×
PUNTO DE CONTROL REGISTRADO	×
LÍNEA DE SEPARACIÓN DE GEÓFONOS	—
CONTORNO DEL MURETE DE ADOBE	—



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
 FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

UBICACIÓN: CUSCO
 DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: QUISPICANCHI
 DISTRITO: ANDAHUAYLLILLAS

PRESENTADO POR:
 Bach.: COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
 Bach.: WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

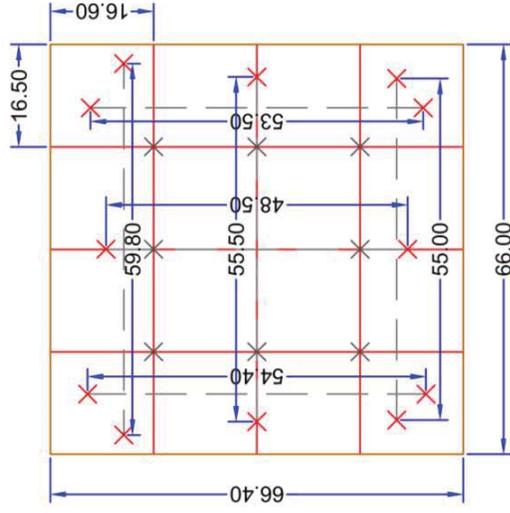
PRESIDENTE:
 Dr. Ing. GAVINO ROJAS BRAVO

INTEGRANTES:
 M.Sc.-Ing. CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL
 Dr. Ing. JOSÉ FELIPE MARIN LOAYZA

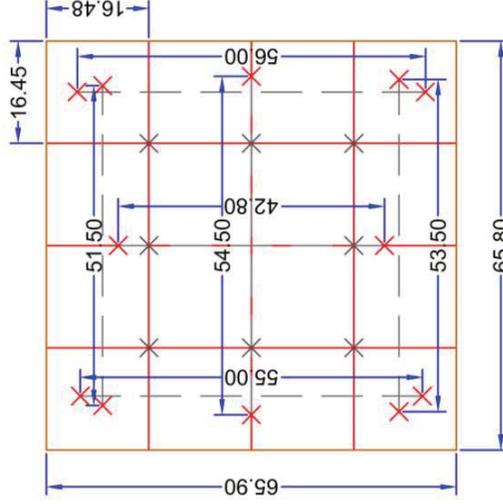
TESIS PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
 PLANO: CONFIGURACIÓN DE ENSAYOS DE PROPAGACIÓN EN MURETES - PUNTOS Y LINEAS DE CONTROL

ESCALA: 1/10	FECHA: NOVIEMBRE 2018
FUENTE: PROPIA	LAMINA: 01
CUSCO - PERU	

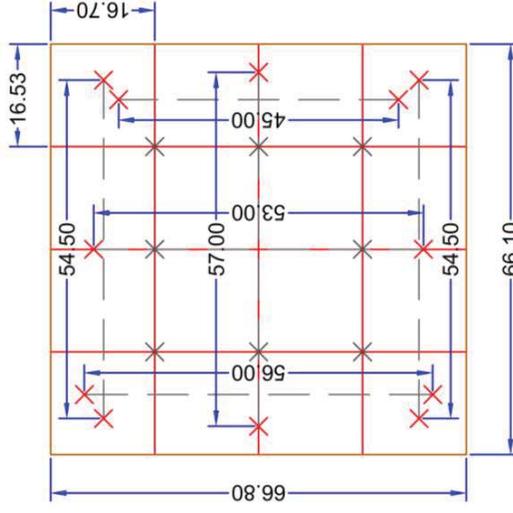
MURETES CON ESPESOR DE JUNTA e = 2.00cm



MURETE 04



MURETE 05



MURETE 06

ESCALA: 1/10

LEYENDA	
LÍNEA DE CONTROL VERTICAL	—
LÍNEA DE CONTROL HORIZONTAL	—
PUNTO DE CONTROL PROPUESTO	×
PUNTO DE CONTROL REGISTRADO	×
LÍNEA DE SEPARACIÓN DE GEÓFONOS	—
CONTORNO DEL MURETE DE ADOBE	—



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



INSTITUTO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

UBICACIÓN: CUSCO
DEPARTAMENTO: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
QUISPICANCHI
DISTRITO: ANDAHUAYLLILLAS

PRESENTADO POR: BACH. COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
BACH.: WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA
PRESIDENTE: Ing. JULIO GAVINO ROJAS BRAVO
INTENDENTE: MSc. ANTONIO CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL
Dr. Ing.: JOSÉ FELIPE MARIN LOAYZA

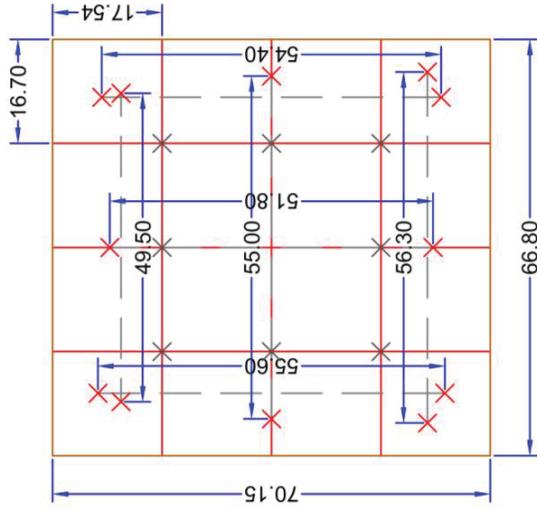
FECHA: NOVIEMBRE 2018
LÁMINA: **02**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
PLANO: CONFIGURACIÓN DE ENSAYOS DE PROPAGACIÓN EN MURETES - PUNTOS Y LÍNEAS DE CONTROL

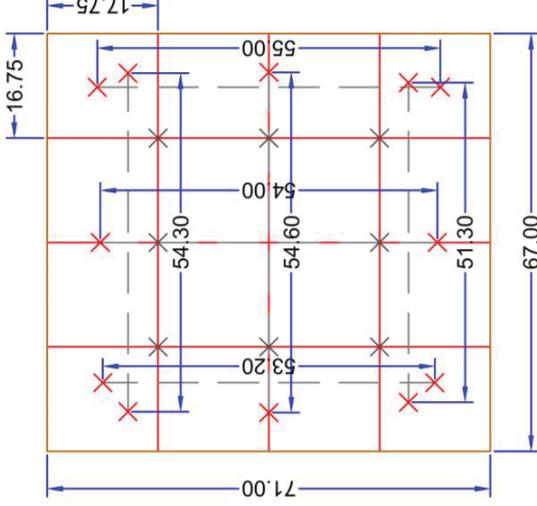
ESCALA: 1:10
PUNTE: PROPIA
CUSCO - PERU

TESIS: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APOSTOL, ANDAHUAYLLILLAS - CUSCO"

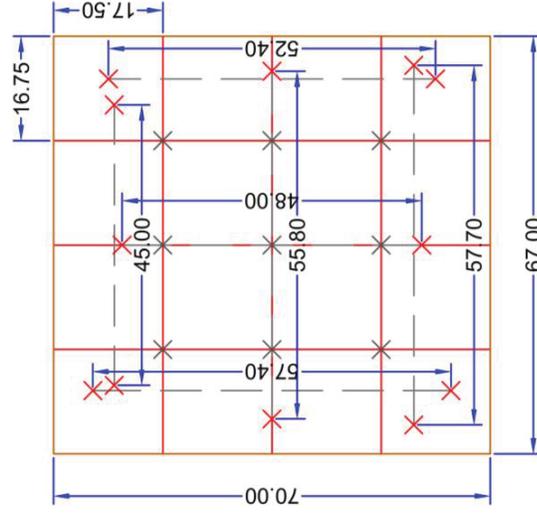
MURETES CON ESPESOR DE JUNTA e = 3.00cm



MURETE 07



MURETE 08



MURETE 09

ESCALA: 1/10

LEYENDA	
LÍNEA DE CONTROL VERTICAL	—
LÍNEA DE CONTROL HORIZONTAL	—
PUNTO DE CONTROL PROPUESTO	×
PUNTO DE CONTROL REGISTRADO	×
LÍNEA DE SEPARACIÓN DE GEOFONOS	—
CONTORNO DEL MURETE DE ADOBE	—



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO
 FACULTAD ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UBICACIÓN: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE MAESTRÍA DE ADOBE POR LOS MÉTODOS: DESTRUCTIVO Y PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL TEMPLO SAN PEDRO APOSTOL, ANDAHUAYLLILLAS - CUSCO"

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PLANO: CONFIGURACIÓN DE ENSAYOS DE PROPAGACIÓN EN MURETES - PUNTOS Y LÍNEAS DE CONTROL

PRESENTADO POR: MURETES - PUNTOS Y LÍNEAS DE CONTROL

BACH.: COSME AMILCAR CONDORI CHUMBISUCA
 BACH.: WILFREDO JUAN GONZALES VENGOA

ESCALA: 1:10
 FUENTE: PROPIA
 CUSCO - PERU

FECHA: NOVIEMBRE 2018
 LAMINA: 03

QUISICANCHI
 DISTRITO: CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL
 ANDAHUAYLLILLAS
 Dr. Ing. JOSÉ FELIPE MARIN LOAYZA