

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE, LADRILLO Y PIEDRA EN EDIFICACIONES HISTÓRICAS PERUANAS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

Luiggi Vargas Díaz

ASESORES: Daniel Torrealva Dávila - Erika Vicente Melendez

Lima, octubre de 2016

Resumen

El presente estudio aborda sobre la caracterización de las propiedades mecánicas de resistencia del adobe y el ladrillo de arcilla cocida, de edificaciones históricas del Perú, a la compresión axial y diagonal en mampostería. Como parte del Proyecto Técnicas de Estabilización Sísmica de Patrimonio en Tierra (SRP), donde se evaluaron los materiales, elementos y sistemas constructivos que conforman el patrimonio histórico.

Con la finalidad de determinar la resistencia del adobe y ladrillo de arcilla cocida de edificaciones histórica, se extrajo en Lima, material del Antiguo Hotel El Comercio, de la Casona del Jr. Ancash, contigua a la primera, y de la Casa Welsch. En Ica, de La Catedral y finalmente del Cusco, de la Iglesia Kuño Tambo. Cabe resaltar que las muestras obtenidas de los inmuebles fueron con el permiso y la supervisión del Ministerio de Cultura del Perú.

En total se ensayaron cincuenta especímenes; entre pilas, muretes, cubos y bloques de adobe y ladrillo cocido; siete de ellos directamente extraídos de los muros del Hotel Comercio; los demás fueron reconstruidos en el laboratorio con bloques y mortero originales. Además de 9 cubos de cal y arena, que se usó en el mortero de las pilas y muretes de ladrillo elaborados en laboratorio con los bloques históricos

El programa de ensayos experimentales incluyó la compresión uniaxial en pilas, compresión diagonal en muretes, compresión en unidades y análisis granulométrico tierra en el caso del adobe.

De la evaluación de éstas muestras, se determinó que las edificaciones históricas estudiadas, en lo general, presentan cimientos y sobrecimientos de piedra y/o ladrillo y muros de adobe.

Asimismo, se obtuvo que los esfuerzos a compresión axial y diagonal se encuentran por encima de los esfuerzos mínimos admisibles (0.2 y 0.025MPa respectivamente de la Norma). En cuanto a la resistencia a compresión axial del ladrillo en el Hotel Comercio se obtuvo en promedio 1.7MPa, para los muretes directamente extraídos, y 6.04MPa, para los especímenes reconstruidos en laboratorio. Mientras que para compresión diagonal se obtuvo 0.16 y 0.55MPa, para los muretes directamente extraídos y los reconstruidos en laboratorio, respectivamente. En ambos casos, adobe y ladrillo, los valores hallados como módulos de elasticidad E y corte G resultaron muy dispersos. Esto se debe a la fragilidad de los materiales, por su composición molecular y su deterioro en sí; que hace que la etapa elástica, de donde se consideran las deformaciones para el cálculo de estos módulos, sea muy corta para ser medida con los deformímetros utilizados.

*A mi amiga y compañera la Ing. Leslie Quiroz,
con quien empezamos este proyecto.*

*A mis asesores el Ing. Daniel Torrealva
y la Ing. Erika Vicente,
que fueron un soporte constante
durante esta investigación.*

*A mis padres Luciano Vargas
y Zoila Díaz,
por su esfuerzo y apoyo
a lo largo de toda mi vida.*

Tabla de contenido

Tabla de contenido	1
Índice de tablas	3
Índice de imágenes y gráficos	4
Capítulo 1. Introducción del tema	6
1.1. <i>SRP – Proyecto de Rehabilitación Sísmica</i>	6
1.2. <i>Metodología de la Investigación</i>	6
Capítulo 2. Objetivos del Proyecto	7
Capítulo 3. Descripción de las edificaciones principales	8
3.1. <i>Antiguo Hotel Comercio [1]</i>	9
3.1.1. Descripción geológica y Clima Regional	9
3.1.2. Contexto y antecedentes históricos	9
3.1.3. Descripción arquitectónica y estructural	10
3.1.4. Descripción de los elementos estructurales de interés	14
3.2. <i>Catedral de Ica [1]</i>	17
3.2.1. Descripción geológica.....	17
3.2.2. Contexto y antecedentes históricos	17
3.2.3. Descripción arquitectónica y estructural	18
3.2.4. Descripción de los elementos estructurales de interés	22
3.3. <i>Iglesia de Kuño Tambo [1]</i>	25
3.3.1. Descripción geológica y ambiental.....	25
3.3.2. Contexto y antecedes históricos	26
3.3.3. Descripción arquitectónica y estructural	26
3.3.4. Descripción de los elementos estructurales de interés	30
Capítulo 4. Programa de ensayos experimentales	35
4.1. <i>Propiedades mecánicas del suelo</i>	35
4.2. <i>Compresión uniaxial en pilas</i>	35
4.3. <i>Compresión diagonal en muretes</i>	35
4.4. <i>Esfuerzo de compresión en unidades</i>	35
Capítulo 5. Extracción de muestras y construcción de especímenes	36
5.1. <i>Extracción de muestras: Hotel Comercio</i>	36
5.2. <i>Construcción de especímenes</i>	40
5.2.1. Adobe.....	41
5.2.2. Ladrillo.....	50

Capítulo 6. Resultados	55
6.1. <i>Albañilería de Adobe</i>	55
6.1.1. Propiedades del suelo de los bloques de adobe y morteros históricos 55	
6.1.2. Compresión uniaxial en pilas	63
6.1.3. Compresión diagonal en muretes	65
6.1.4. Esfuerzo a la compresión en unidades	67
6.1.5. Resumen de los resultados de los ensayos en adobe	71
6.2. <i>Albañilería de Ladrillo Cocido</i>	72
6.2.1. Compresión uniaxial en pilas	72
6.2.2. Compresión diagonal en muretes	75
6.2.3. Esfuerzo a la compresión en unidades	78
6.2.4. Resumen de los resultados de los ensayos en adobe	80
Capítulo 7. Conclusiones finales	81
7.1. <i>Sobre el adobe</i>	81
7.2. <i>Sobre el ladrillo</i>	82
Bibliografía	84

Índice de tablas

Tabla 1: Especímenes ensayados	40
Tabla 2: Dimensiones de las pilas de adobe.....	45
Tabla 3: Dimensiones de los muretes de adobe	48
Tabla 4: Dimensiones de los bloques de adobe.....	49
Tabla 5: Dimensiones de las pilas de ladrillo	50
Tabla 6: Dimensiones de los muretes de ladrillo.....	53
Tabla 7: Dimensiones de los bloques de ladrillo	54
Tabla 8: Dimensiones de los bloques de mortero de cal y arena	55
Tabla 9: Clasificación SUCS, límites de Atterberg y gravedad específica del suelo de los bloques de adobe.....	56
Tabla 10: Clasificación SUCS, límites de Atterberg y gravedad específica del suelo de los morteros.....	56
Tabla 11: Compresión Axial – Pilas de adobe.....	63
Tabla 12: Compresión Diagonal – Muretes de adobe	65
Tabla 13: Compresión en unidades – adobe.....	67
Tabla 14: Resultados promedio según procedencia del material - Adobe.....	71
Tabla 15: Compresión Axial – Pilas de ladrillo cocido	72
Tabla 16: Compresión Diagonal – Muretes de ladrillo cocido.....	75
Tabla 17: Compresión de unidades - Bloques de ladrillo y de mortero nuevo de cal y arena	78
Tabla 18: Resultados promedio según procedencia del material – Ladrillo de arcilla cocida.....	80

Índice de imágenes y gráficos

Fig. 1 - Ubicación de las edificaciones	8
Fig. 2 - Antiguo Hotel Comercio [1]	10
Fig. 3 - Planta Primer Piso [1]	11
Fig. 4 – Corte típico transversal de un muro exterior [1].....	12
Fig. 5 – Antiguo Hotel Comercio – Fachada Jr. Carabaya [1]	13
Fig. 6 – Antiguo Hotel Comercio – Fachada Jr. Ancash [1].....	13
Fig. 7 – Esquema de la composición estructural del edificio [1]	14
Fig. 8 – Composición de la cimentación y sobrecimiento [1].....	15
Fig. 9 – Corte transversal de la cimentación y sobrecimiento [1].....	15
Fig. 10 – Esquema de la estructura de muros portantes exteriores [1].....	16
Fig. 11 - Fachada de la Catedral de Ica [L. Vargas]	17
Fig. 12 – Mapa de la Ciudad de Ica [Aellon, Mario / Schreiner, Eugenio] [1].....	18
Fig. 13– Ubicación de la Catedral de Ica	18
Fig. 14 - Disposición de la Catedral – Vista de corte [1].....	19
Fig. 15 - Disposición de la Catedral - Vista en planta [1].....	20
Fig. 16 - Fachada de ladrillo de la Catedral de Ica [1]	21
Fig. 17 - Muro de adobe lateral largo, lado norte [1].....	21
Fig. 18 - Sobrecimiento de ladrillo de la pared lateral de lado norte [L. Vargas].....	22
Fig. 19 - Interior de la catedral de Ica [1].....	22
Fig. 20 – Ubicación de Prospecciones IW1, IS1-IW2 [1]	23
Fig. 21 - Prospección IS1 - IW2 [1] IS1. Piso entre la fachada principal y la base del Campanario IW2. Muro lado izquierdo del retablo de Santa Rosa	23
Fig.22 - Prospección IS2 - IW6 [1] Conformación típica entre los muros laterales de adobe y las pilas de madera y quincha	24
Fig. 23 - Afloramiento visible de roca en el lado este de la Iglesia [1]	25
Fig. 24- Ubicación geográfica de Kuño Tambo. Acomayo. Cusco [1].....	26
Fig. 25- Iglesia de Kuño Tambo [1]	27
Fig. 26- Vista interior de la Iglesia [1].....	27
Fig. 27- Disposición de la Iglesia – Vista en planta [1]	28
Fig. 28- Disposición de la Iglesia – Elevación interior [1].....	29
Fig. 29 - Vista frontal fachada principal [1]	29
Fig. 30- Fachada principal (extremo sur) [1].....	29
Fig. 31 - Esquema General de la Iglesia Kuño Tambo [1].....	30
Fig. 32 - Corte cimentación [1].....	31
Fig. 33 - Corte cimentación [1].....	32
Fig. 34 - Corte cimentación – zona del altar [1].....	32
Fig. 35 - Contrafuertes de adobe “amarrados” al muro lateral este [1]	33
Fig. 36 – Muro lateral oeste de adobe [1].....	33
Fig. 37 - Esquema Isométrico de contrafuertes de adobe “amarrados” con el muro lateral este [1]	34
Fig. 38 – Muros de donde se extrajeron las pilas y muretes	37
Fig. 39 – Ubicación de donde se extrajo material en el Hotel Comercio [1].....	38
Fig. 40 – Procedimiento de extracción y embalaje	39
Fig. 41 - Construcción de las pilas de adobe (1)	41
Fig. 42 - Construcción de las pilas de adobe (2)	42

Fig. 43 - Construcción de las pilas de adobe (3)	42
Fig. 44 - Construcción de las pilas de adobe (5)	43
Fig. 45 - Construcción de las pilas de adobe (6)	43
Fig. 46 - Construcción de las pilas de adobe (7)	44
Fig. 47 - Construcción de las pilas de adobe (8)	44
Fig. 48 - Construcción de los muretes de adobe (1)	46
Fig. 49 - Construcción de los muretes de adobe (2)	47
Fig. 50 - Construcción de los muretes de adobe (3)	47
Fig. 51 - Construcción de los muretes de adobe (4)	48
Fig. 52 - Cubos de adobe a ensayar	49
Fig. 53 - Sección del muro directamente extraído	50
Fig. 54 - Preparación de los muretes de ladrillo (1)	51
Fig. 55 - Preparación de los muretes de ladrillo (2)	52
Fig. 56 - Preparación de los muretes de ladrillo (3)	52
Fig. 57 - Preparación de los muretes de ladrillo (4)	53
Fig. 58 - Bloques de ladrillo - Hotel Comercio	54
Fig. 59 - Bloques de mortero de cal y arena	54
Fig. 60 - Curva granulométrica de los bloques de adobe	57
Fig. 61 - Curva granulométrica de los morteros de adobe	58
Fig. 62 - Curva granulométrica del mortero y adobe - Catedral de Ica	59
Fig. 63 - Curva granulométrica del mortero y adobe - Casa Welsch	60
Fig. 64 - Curva granulométrica del mortero y adobe - Hotel Comercio	61
Fig. 65 - Curva granulométrica del mortero y adobe - Casa Jr. Ancash	62
Fig. 66 - Gráfico ensayo de compresión axial - adobe	63
Fig. 67 - Pilas de adobe ensayadas	64
Fig. 68 - Gráfico ensayo de compresión diagonal - adobe	65
Fig. 69 - Muretes de adobe ensayados	66
Fig. 70 - Bloques de adobe ensayados	68
Fig. 71 - Bloques de adobe ensayados (1)	69
Fig. 72 - Bloques de adobe ensayados (2)	69
Fig. 73 - Bloques de adobe ensayados (3)	70
Fig. 74 - Bloques de adobe ensayados (4)	70
Fig. 75 - Gráfico ensayo de compresión axial - ladrillo	72
Fig. 76 - Pilas de ladrillo directamente extraídas	73
Fig. 77 - Pilas de ladrillo reconstruidas en laboratorio	74
Fig. 78 - Gráfico ensayo de compresión diagonal - ladrillo	75
Fig. 79 - Muretes de ladrillo directamente extraídos	76
Fig. 80 - Muretes de ladrillo reconstruidos con mortero nuevo de cal y arena	77
Fig. 81 - Bloques de ladrilla cocida (izq.) y mortero nuevo de cal y arena (der)	79

Capítulo 1. Introducción del tema

1.1. SRP – Proyecto de Rehabilitación Sísmica

Mediante un convenio entre el Getty Conservation Institute (GCI) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) se llevó a cabo el Proyecto de Estabilización sísmo resistente en edificaciones de tierra (SRP), que tiene como objetivo establecer pautas para la rehabilitación de edificios de tierra con técnicas sencillas que no demanden tecnología muy sofisticada. Uno de los temas fundamentales en este proyecto fue el determinar y comparar las propiedades mecánicas en mampostería de adobe y ladrillo cocido en edificaciones históricas peruanas. En el trabajo se da a conocer a detalle la metodología, los resultados y conclusiones de dicha investigación.

1.2. Metodología de la Investigación

El análisis estructural de las edificaciones depende de las características mecánicas de los materiales con que están contruidos. Muchas edificaciones históricas han sufrido variaciones debido al deterioro y a agentes influyentes a lo largo de su vida útil, además presentan fallas locales generadas por sismos; es por ello que es importante conocer las propiedades de muestras inalteradas de material de algunos de sus elementos estructurales.

Para ello, primero se realizó una revisión bibliográfica sobre los principales edificios de nuestro estudio: El Antiguo Hotel El Comercio (casona limeña), la Catedral de Ica (Iglesia Costera) y la Iglesia Kuño Tambo (Iglesia rural cusqueña). Luego, se planificó y ejecutó la extracción de los materiales requeridos para los ensayos. Cabe señalar que, además de las edificaciones señaladas, para el análisis de la resistencia de adobe se consideró material de una vivienda aledaña al Hotel Comercio en el Jr. Ancash y la casa Welsch, en el Centro de Lima. Finalmente, se elaboraron los especímenes de ensayo y se llevaron a cabo los ensayos. Se interpretaron los resultados, se contrastaron con la bibliografía disponible y se elaboraron las conclusiones.

Inicialmente el proyecto también contemplaba el estudio de la resistencia de la piedra usada en la cimentación de las edificaciones; para ello se realizaron ensayos Hammer directamente en algunas calicatas. Sin embargo, debido a la dispersión e inconsistencia de los resultados se decidió limitar el alcance del estudio al adobe y la mampostería de arcilla cocida.

Capítulo 2. Objetivos del Proyecto

- 2.1. Muchas de las investigaciones que se han realizado en mampostería de adobe y arcilla, en edificaciones históricas, se centran en un análisis cualitativo de las edificaciones y dejan de lado información cuantitativa de las características de sus elementos, material y comportamiento. Es por ello que esta investigación busca aportar datos numéricos de las características de los materiales con que fueron construidos. De allí que, el objetivo principal del proyecto es determinar las propiedades mecánicas de los elementos en mampostería de adobe y arcilla cocida de las edificaciones históricas peruanas, de las que se conoce muy poco.
- 2.2. Se espera que los resultados del análisis de este estudio sirvan para la evaluación y diagnóstico de edificaciones idénticas en las diferentes partes del Perú. Es por ello que se han evaluado los materiales de tres tipos de edificaciones: la casona típica costera de adobe y quincha (Hotel comercio, una casona contigua en Jr. Ancash y la casa Wesch), la iglesia jesuita típica de adobe y quincha (Catedral de Ica) y la iglesia de adobe en zonas rurales de la sierra (Iglesia de Kuño Tambo).
- 2.3. Este trabajo permitirá un rápido entendimiento y un esbozo de cualquier diseño estructural en base a la resistencia de los materiales que se requiera estimar en proyectos de restauración y evaluación del deterioro; según sus materiales, sistemas constructivos y procedencia.
- 2.4. Los valores hallados como el esfuerzo a la rotura o agrietamiento y los módulos de elasticidad y corte, servirán para definir algunas variables en los softwares de análisis estructural durante el modelamiento de las edificaciones en estudio, que forman parte de un proyecto más amplio. Además podrían ser usados en el modelamiento de otras edificaciones de tipologías y condiciones similares.

Capítulo 3. Descripción de las edificaciones principales

El proyecto contempla el estudio del material conque fueron construidas cinco edificaciones ubicadas en Lima, Ica y Cuzco (Fig. 1). Inicialmente solo estaban considerados el Hotel Comercio, en Lima, la Catedral de Ica, en Ica, y la iglesia de Kuño Tambo, en Cusco. Sin embargo, posteriormente, se consiguió acceso a una vivienda aledaña al Hotel Comercio en Jr. Ancash y la casa Welsch en el Jr. De la Unión, que estaba en restauración para usarla como restaurante de una conocida marca de comida rápida; ambas están ubicadas en el Centro Histórico de Lima.

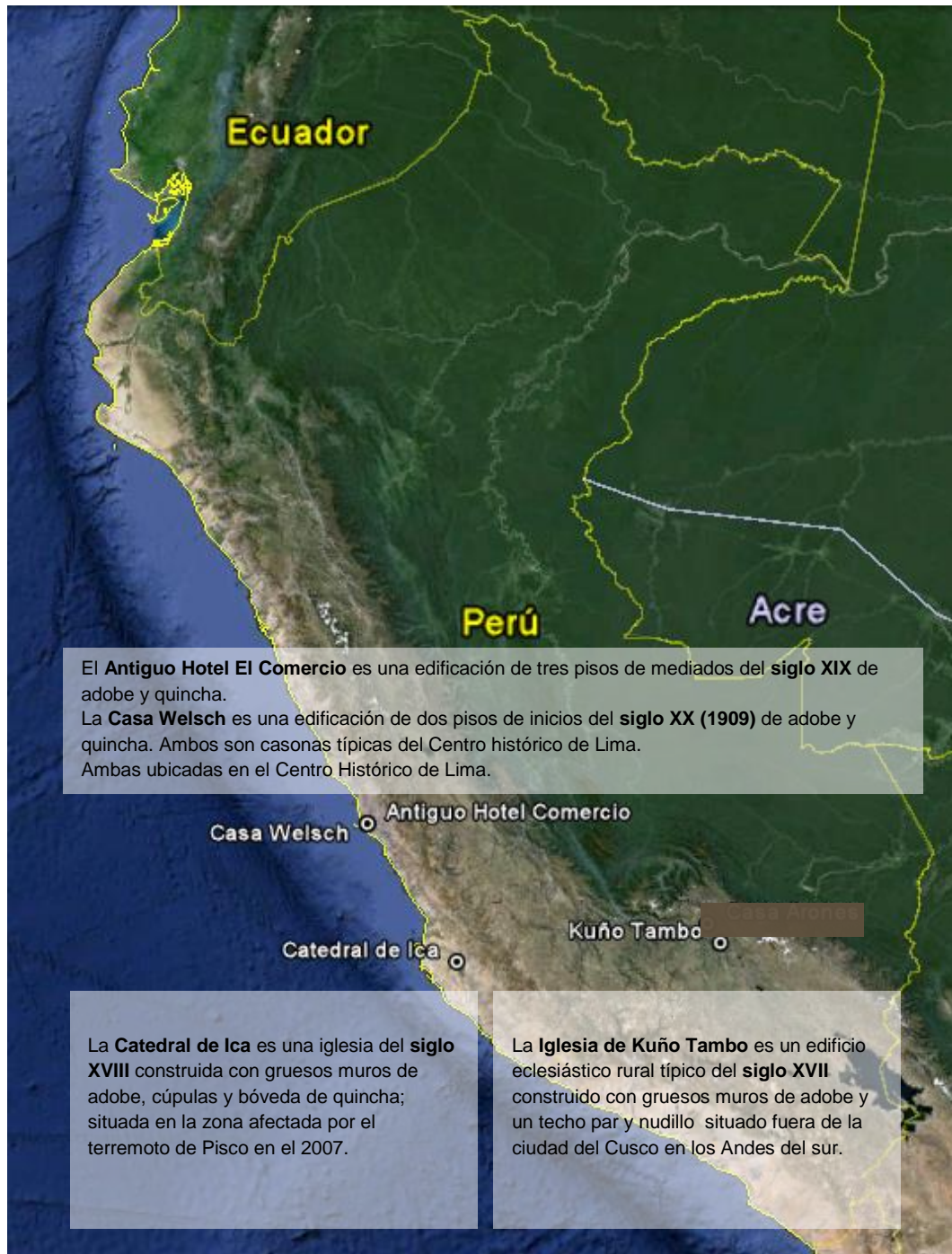


Fig. 1 - Ubicación de las edificaciones

3.1. Antiguo Hotel Comercio [1]

El Antiguo Hotel Comercio es una edificación de tres pisos del siglo XIX de adobe y quincha; ubicado en el centro histórico de Lima.

Es un prototipo ideal de un edificio tipo patio o casona, idéntico a muchos edificios históricos en el centro de Lima y otras ciudades de América del Sur, presenta técnicas de construcción típica de tierra peruana: cimientado de piedra, sobrecimiento de ladrillo cocido, muros de mampostería de ladrillo de barro o adobe en el primer piso, paneles de quincha en los siguientes pisos y entrepisos y techos de madera.

3.1.1. Descripción geológica y Clima Regional

El edificio está situado en una zona de riesgo sísmico de nivel 3, según la clasificación del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que es el nivel más alto en una escala de 1 a 3. [2]

La temperatura media anual de Lima es de 18°C, que va desde un mínimo de 12°C hasta un máximo de 32° C. En Lima casi no hay lluvias; tampoco es propensa a inundaciones.

3.1.2. Contexto y antecedentes históricos

El Hotel Comercio fue construido a mediados del siglo XIX; sin embargo, antes de ello existieron muchas construcciones coloniales y pre-hispánicas que ocuparon su ubicación y los alrededores de la Plaza de Armas de Lima.

En tiempos prehispánicos, en el lugar donde se ubica el Hotel El Comercio, se encontraba una construcción de adobe de forma piramidal que funcionaba como santuario y a la que los españoles llamaron Huaca Riquelme.

En el siglo XVI se construyó una casa de dos pisos en la misma ubicación. El 28 de octubre de 1746, un terremoto sacudió Lima por tres minutos, cerca de tres mil casas colapsaron; probablemente el inmueble ubicado donde hoy se halla el Hotel Comercio también colapsó. Después del mencionado terremoto se prohibió construir edificaciones de adobe de más de dos pisos.

Se sabe que en el siglo XIX se levantó la prohibición y se permitió la construcción de edificaciones de tres pisos; por ello estimamos que el edificio actual data de dicha época.

Con el paso del tiempo la ciudad sufrió algunos cambios como la construcción de una nueva línea del tren que unía al Callao, Lima y Matucana en 1878; con estaciones cercanas a la edificación como la Estación Ferroviaria Central de Desamparados, en 1912. Con ello su ubicación se volvió una zona transitada y la edificación se convirtió en un Hotel que acogía un gran número de visitantes.

El 23 de julio de 1980, el edificio fue declarado como monumento nacional peruano; y en 1991 la UNESCO inscribe al Centro Histórico de Lima como Patrimonio Mundial, y con él al Hotel Comercio por encontrarse dentro de sus límites.

Actualmente el edificio es administrado por el Ministerio de Cultura del Perú y se encuentra desocupado, con la excepción de algunos espacios comerciales en el primer piso; entre ellos el bar El Cordano, fundado en 1905 por los genoveses Fortunato y Andrés Cordano, que posee gran relevancia histórica y social por haber sido punto de encuentro para cenas y reuniones de presidentes peruanos durante la época republicana; y la residencia de los guardias del sitio.

Por su diseño, construcción e historia, el Hotel Comercio es ejemplo de una casona típica de Lima y otras ciudades históricas del Virreinato en América del Sur.

3.1.3. Descripción arquitectónica y estructural

El Hotel Comercio se encuentra ubicado en el Centro Histórico de Lima frente al Palacio de gobierno y a una cuadra de la Plaza Mayor de Lima, la Catedral y el Ayuntamiento de Lima.



Fig. 2 - Antigo Hotel Comercio [1]

El edificio tiene un área de 1480 m² y consta de tres pisos, dos patios, tres escaleras y, un total de 131 habitaciones: 27 en la primera planta (Fig. 3), 51 en la segunda y 53 en el tercer piso. Las paredes del primer piso están hechas de adobe sobre una base de mampostería de ladrillo cocido, y una cimentación de piedra. Cabe señalar que las aberturas de las puertas se encuentran hechas con ladrillo cocido en todo su contorno, que se incrustan en las paredes de barro. Las paredes interiores del segundo y tercer piso están hechas de paneles de quincha (Fig. 4). Todas las fachadas exteriores y la del patio (interior) están revestidas de yeso pintado que parecen ser bastante reciente. Los pisos están contruidos con un doble piso sobre vigas de madera. El doble piso consta de tablonces de madera machihembrados apoyados sobre durmientes de madera, y estos a su vez sobre

tablones de madera sostenidos por vigas de madera. Los tablones de madera normalmente se unen en la parte inferior de la estructura del piso para proporcionar un techo acabado para el cuarto de abajo. El techo es llano y de construcción similar a los pisos, pero el acabado es con tarrajeo de barro.

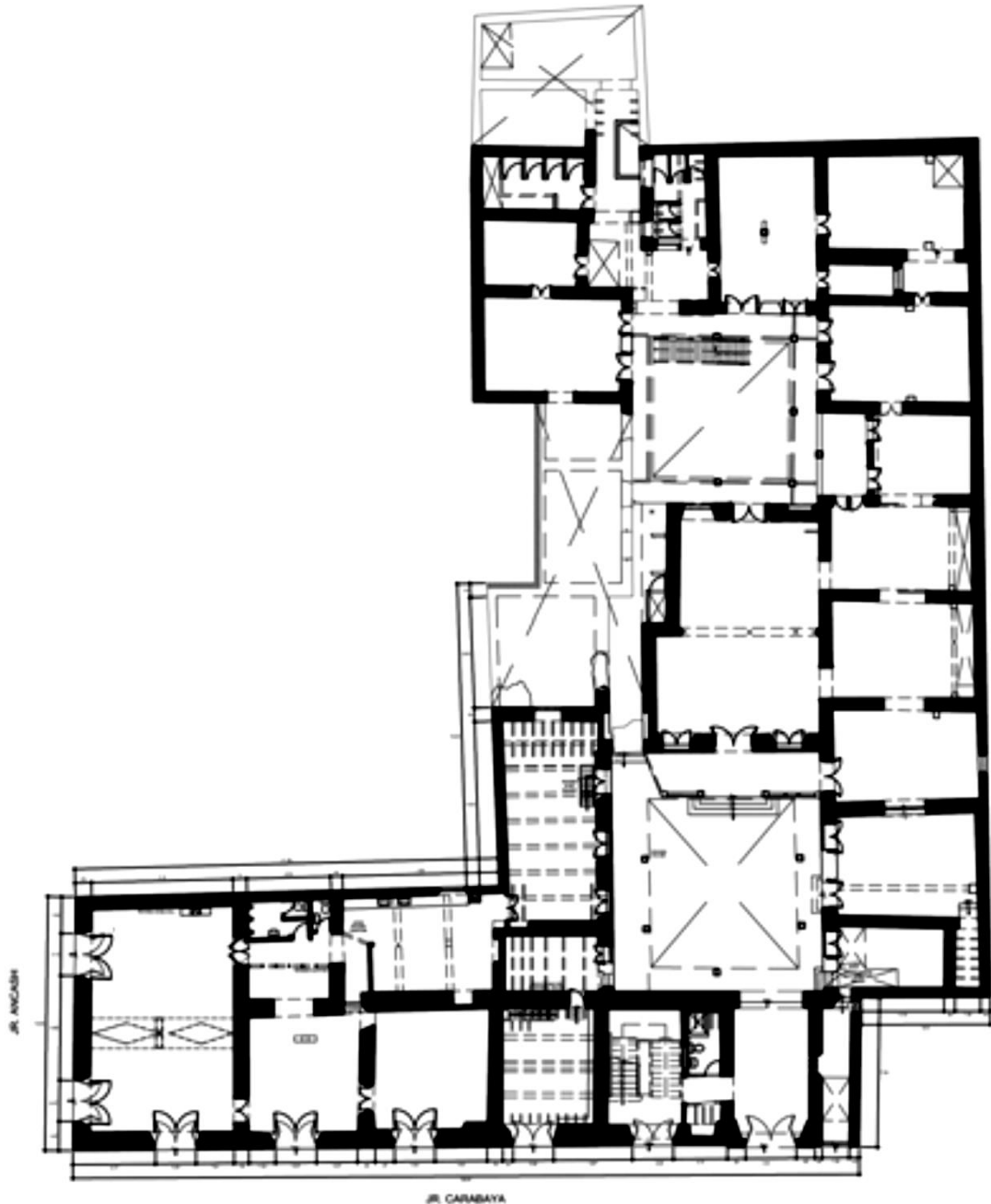


Fig. 3 - Planta Primer Piso [1]

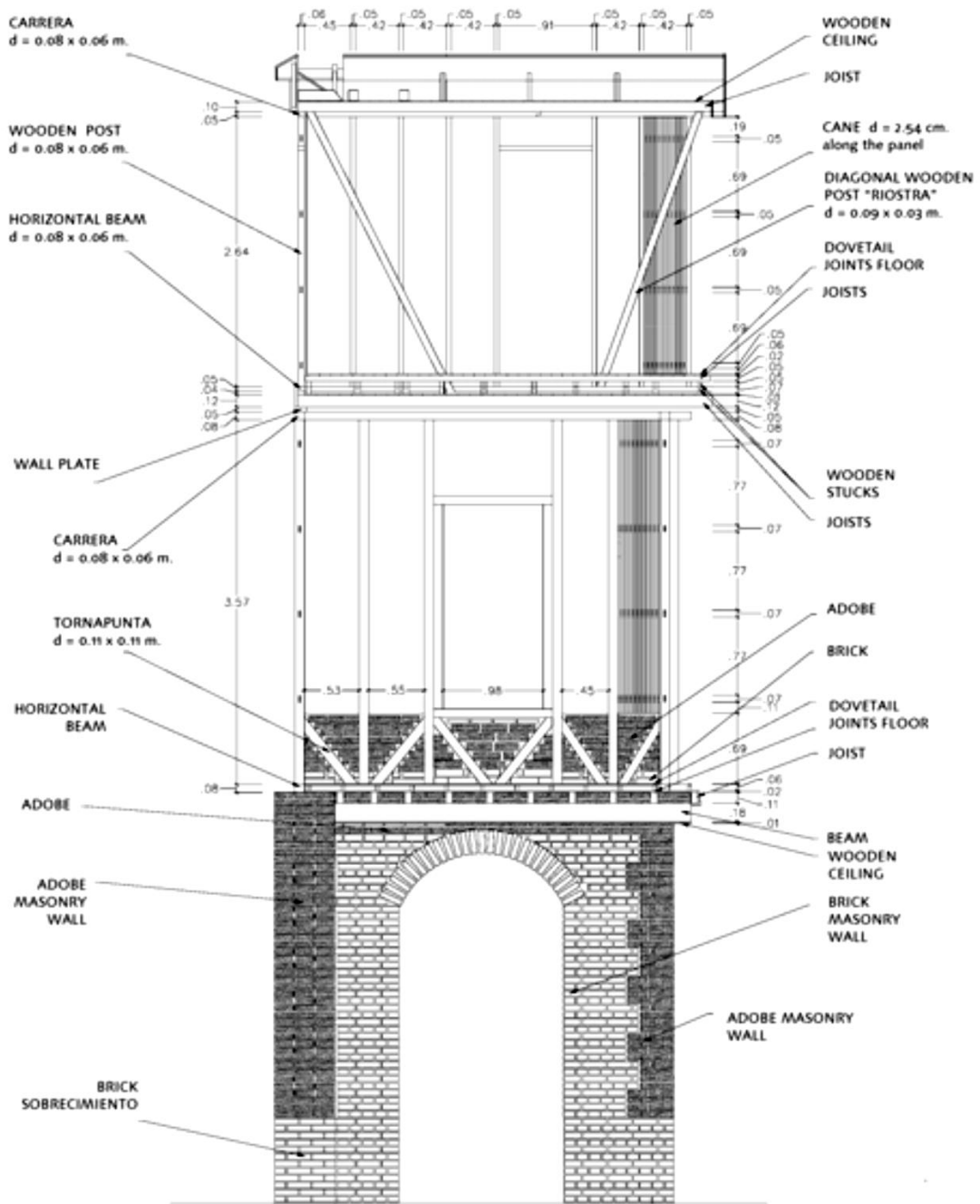


Fig. 4 – Corte típico transversal de un muro exterior [1]



Fig. 5 – Antigo Hotel Comercio – Fachada Jr. Carabaya [1]



Fig. 6 – Antigo Hotel Comercio – Fachada Jr. Ancash [1]

3.1.4. Descripción de los elementos estructurales de interés

El Hotel Comercio es un edificio de tres plantas compuesto estructuralmente de cimentación en piedra, ladrillo de arcilla cocida en el sobrecimiento, adobe en los muros del primer nivel y quincha empastada en barro en el segundo y tercer niveles (Fig. 7). El estudio contempla el adobe y ladrillo de arcilla cocida que componen el sobrecimiento y muros del primer nivel.

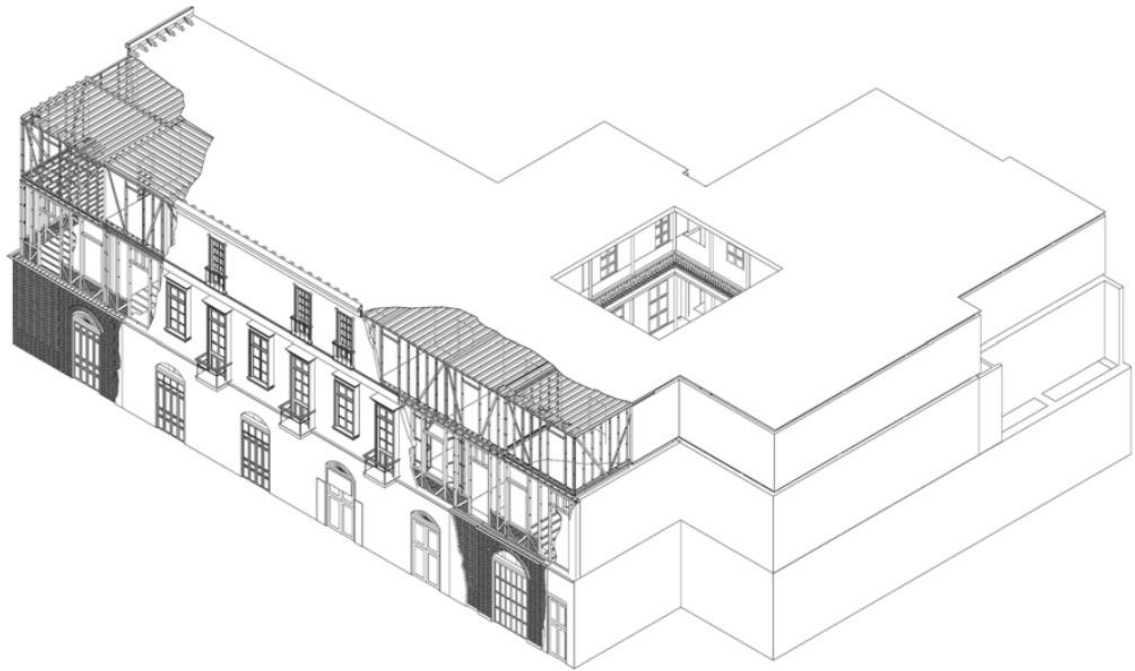


Fig. 7 – Esquema de la composición estructural del edificio [1]

3.1.4.1. Cimentación y sobrecimiento

La cimentación está conformada por mampostería de piedra con mortero de arena y cal y tiene una profundidad promedio de 0.50 a 0.80m por debajo del nivel del piso terminado. El sobrecimiento está construido de mampostería de ladrillo cocido con mortero de cal, y se eleva a una altura media de 0.70 a 1.00m sobre el nivel del piso terminado. El ladrillo del sobrecimiento se incorpora al ladrillo cocido que rodea las aberturas de las puertas en forma de pórtico. Las juntas de mortero horizontales y verticales en la mampostería de ladrillo cocido tienen un espesor promedio de 25 a 30mm (Fig. 8).



Fig. 8 – Composición de la cimentación y sobrecimiento [1]

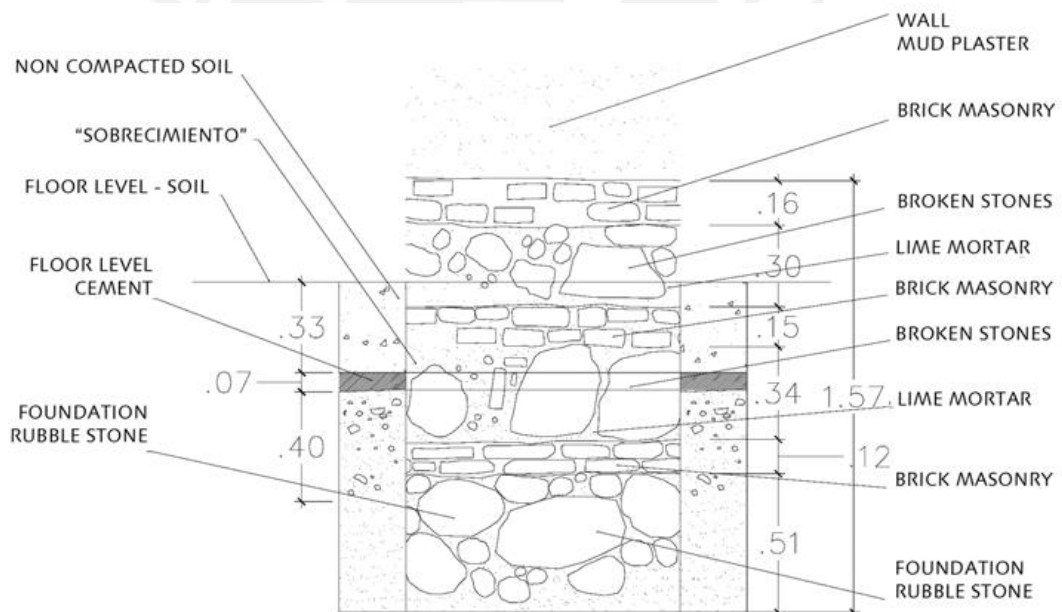


Fig. 9 – Corte transversal de la cimentación y sobrecimiento [1]

3.1.4.2. Muros

El Hotel El Comercio está construido con muros de ladrillo y adobe en el primer piso y muros de quincha en el segundo y tercer piso.

Las paredes de adobe tienen una altura total de 5.20m (incluyendo su sobrecimiento). El rango de espesores de los muros varía entre 0.85m en la fachada noreste del Jirón Ancash de 12.80m de largo, 0.82 a 1.25m en la fachada noroeste del Jirón Carabaya de 39.65m de largo, y 0.60 y 0.9m en los muros portantes interiores. Así, con una relación de esbeltez entre 4 y 6, para los muros

exteriores, y 6.5 y 8.6, para los interiores, se los puede considerar anchos. En las aberturas de la puerta, hay marcos de ladrillo cocido cuyo espesor varía entre 0.42m y 0.98m, extienden la profundidad de la pared y están entrelazados con la pared construida con ladrillos de barro adyacentes en casi todos los alrededores (Fig. 10). Las fachadas exteriores y el patio están cubiertos con 30 a 40mm de tarrajeo de barro y una capa de acabado de yeso de 2mm.

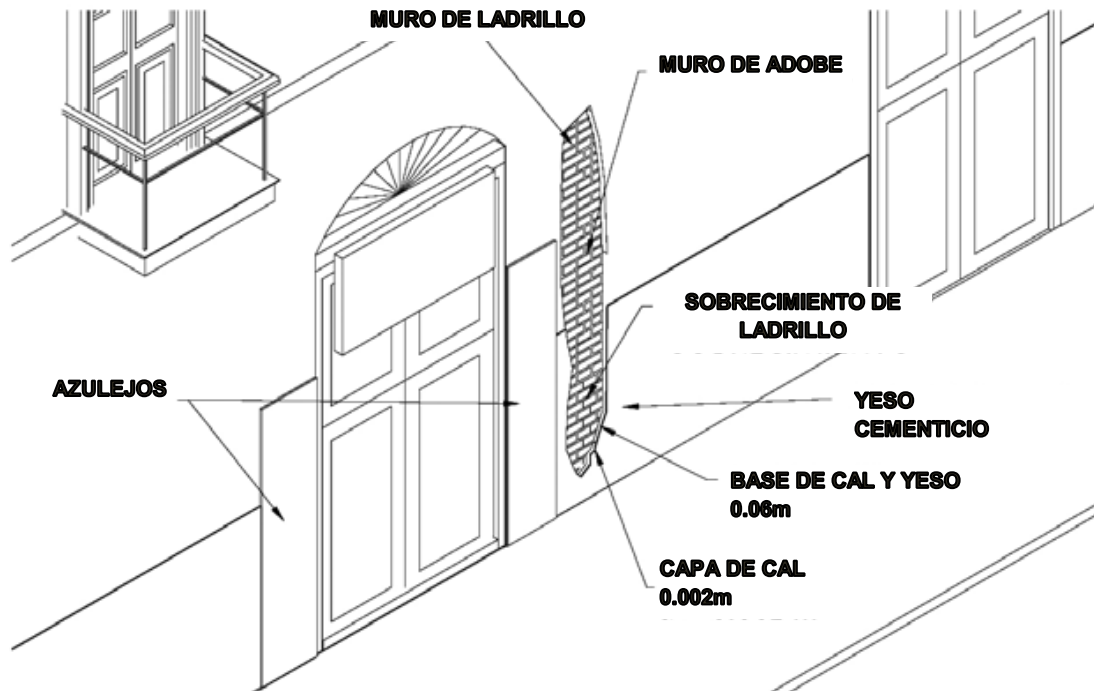


Fig. 10 – Esquema de la estructura de muros portantes exteriores [1]

3.2. Catedral de Ica [1]

La Catedral de Ica es una iglesia del siglo XVIII construida con gruesos muros de adobe, cúpulas y bóveda de quincha; situada en la zona afectada por el terremoto de Pisco en el 2007. Fue declarado monumento nacional en 1982.



Fig. 11 - Fachada de la Catedral de Ica [L. Vargas]

3.2.1. Descripción geológica

La Catedral está construida sobre arena limosa. El edificio está situado en una zona de riesgo sísmico de nivel 3, el más alto clasificado por el RNE. [2]

3.2.2. Contexto y antecedentes históricos

La catedral está ubicada en un edificio del siglo XVIII que fue construido originalmente para el colegio Jesuita de San Luis Gonzaga¹. La edificación es representante de la iglesia típica jesuita barroca.

El edificio funcionaba como una Catedral, hasta el terremoto de 2007 que produjo el colapso de las secciones de la bóveda de cañón, cerca de la fachada, el colapso parcial de la cúpula central, el total colapso del techo en un compartimento de la nave del lado sur y la pérdida de yeso en las bases de la columna y pilastra.

¹Según el padre Rubén Vargas Ugarte, un historiador jesuita, éste fue uno de los últimos (o literalmente el último) edificios construidos por los jesuitas en la región, antes de su expulsión en 1767. [26]

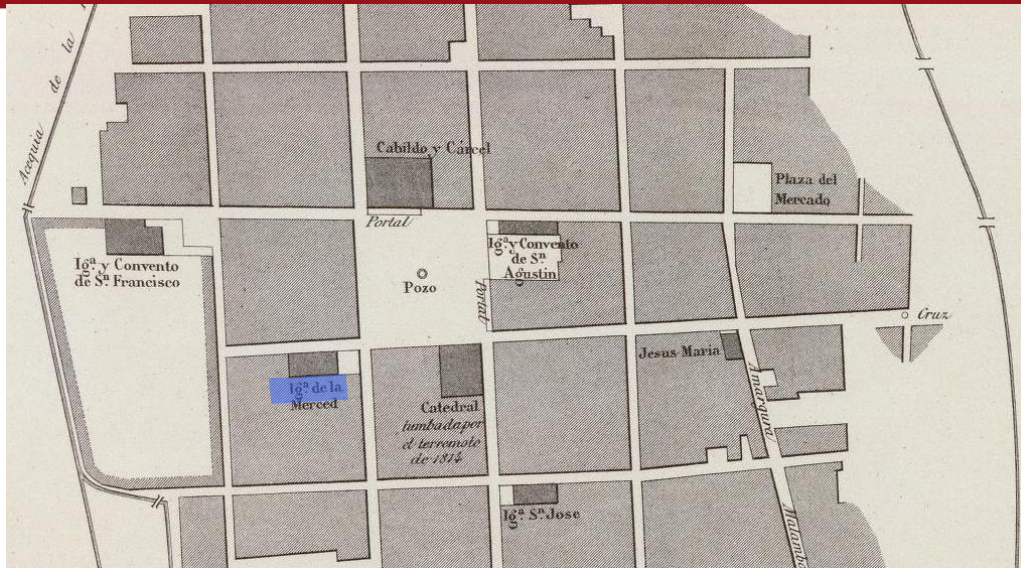


Fig. 12 – Mapa de la Ciudad de Ica [Aellon, Mario / Schreiner, Eugenio] [1]

3.2.3. Descripción arquitectónica y estructural

La Catedral está situada en la esquina de un bloque urbano en el Centro Histórico de Ica, en la intersección del Jirón La Libertad y el Jirón Bolívar. La Iglesia ocupa un área de 1,075 metros cuadrados y tiene una planta rectangular.



Fig. 13– Ubicación de la Catedral de Ica

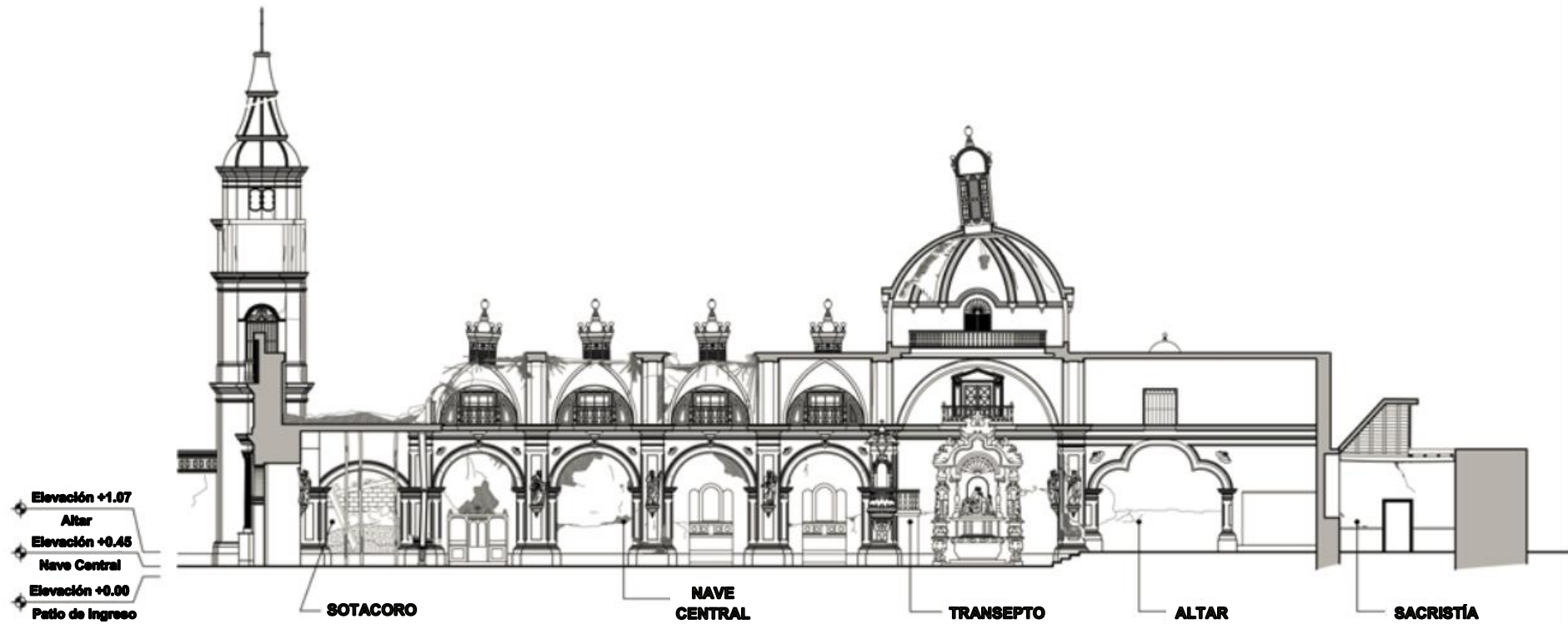


Fig. 14 - Disposición de la Catedral – Vista de corte [1]

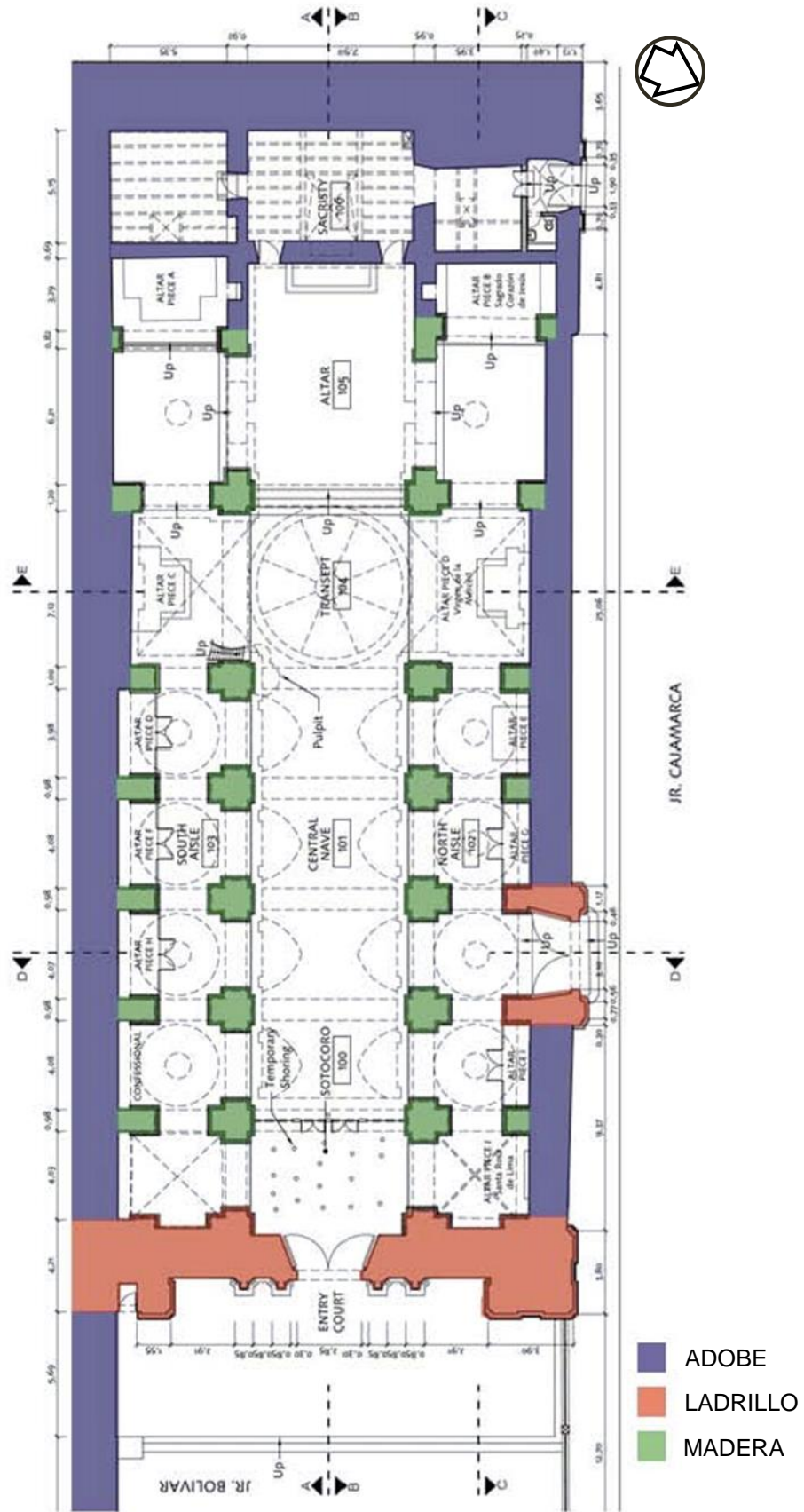


Fig. 15 - Disposición de la Catedral - Vista en planta [1]



Fig. 16 - Fachada de ladrillo de la Catedral de Ica [1]



Fig. 17 - Muro de adobe lateral largo, lado norte [1]



Fig. 18 - Sobrecimiento de ladrillo de la pared lateral de lado norte [L. Vargas]

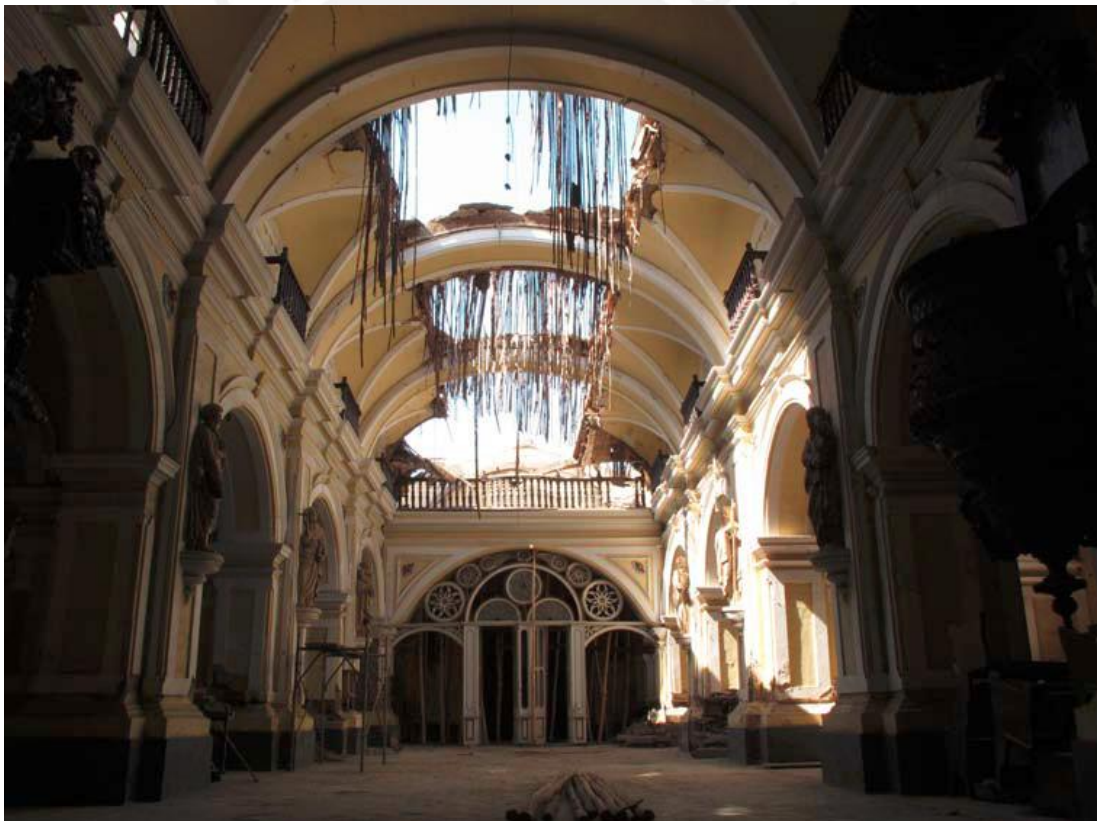


Fig. 19 - Interior de la catedral de Ica [1]

3.2.4. Descripción de los elementos estructurales de interés

3.2.4.1. Sobrecimiento

El sobrecimiento normalmente está construido con mampostería de ladrillo cocido y a veces también de mampostería de piedra (Fig. 21).

La fachada principal en el lado este de la Iglesia está construida con mampostería de ladrillo cocido con un mortero de cal.

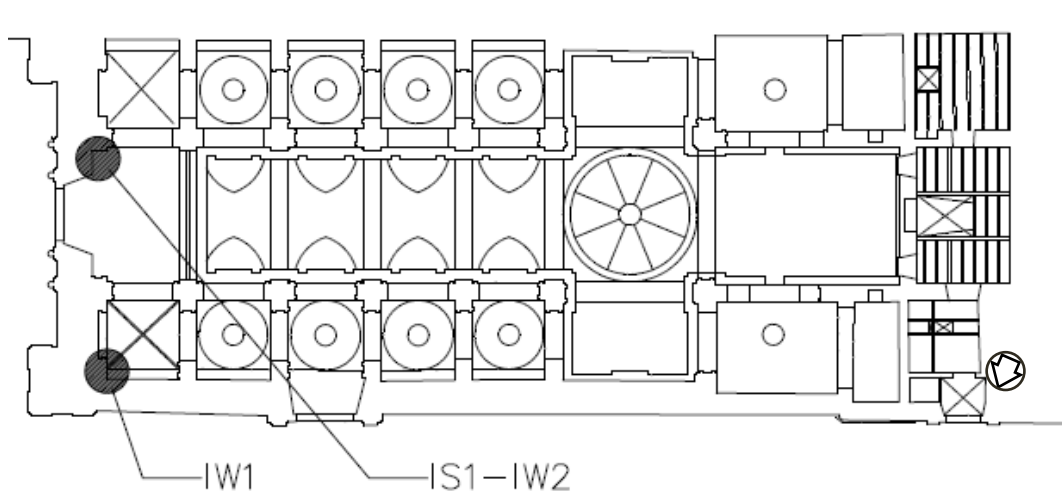


Fig. 20 – Ubicación de Prospecciones IW1, IS1-IW2 [1]

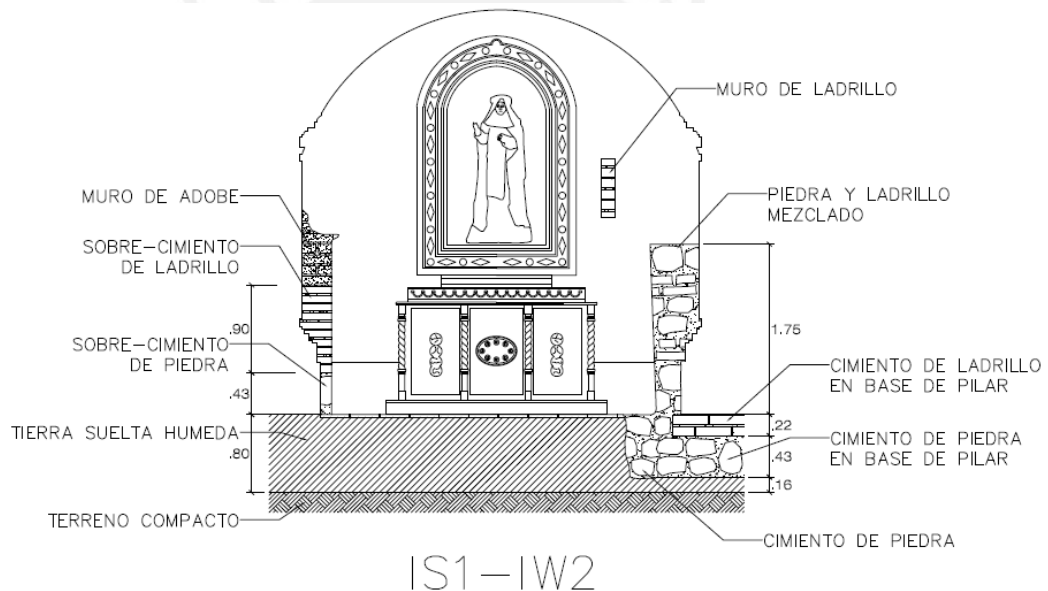
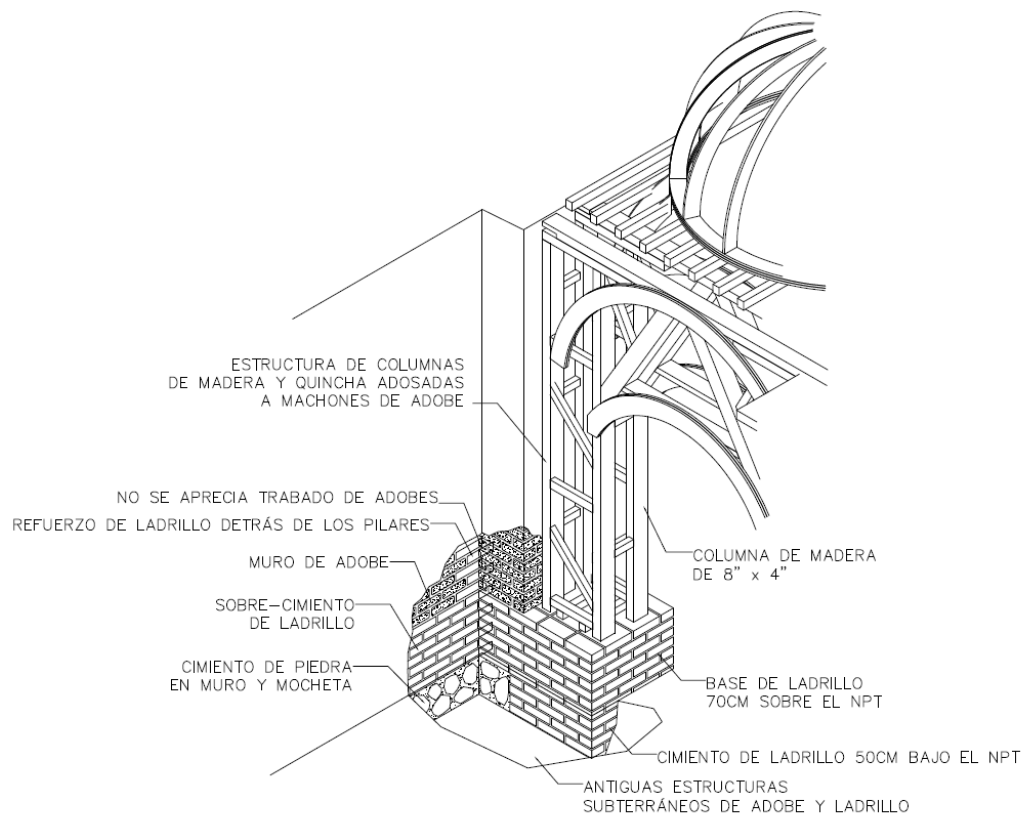


Fig. 21 - Prospección IS1 - IW2 [1]
IS1. Piso entre la fachada principal y la base del Campanario
IW2. Muro lado izquierdo del retablo de Santa Rosa

IS1. Cala ubicada en el piso, entre la fachada lateral y la base del campanario, este último tiene a su vez un pilar adosado. Se procedió a levantar las losetas asentadas con cemento, encontrándose debajo de ellas tierra suelta y muy húmeda. El cimiento del muro de la fachada lateral de la iglesia está hecho de piedra angulosa asentada con mortero de cal y arena, de 0.43m de profundidad. Debajo hay tierra compacta.

IW2. La cala realizada en el lado izquierdo del retablo de Santa Rosa nos permite observar un sobrecimiento de piedra asentada con mortero de cal y arena de 0.43m de alto, sobre el cual hay 0.90m de ladrillo asentado con mortero de cal y arena, encima del cual se asienta el muro de adobe.

Los pilares de quincha tienen cimientos de ladrillo cocido que se extienden desde 0.50m por debajo del nivel del piso y 0.70m por encima de él para crear un pilar base.



**Fig.22 - Prospección IS2 - IW6 [1]
Conformación típica entre los muros laterales de adobe
y las pilas de madera y quincha**

3.2.4.2. Muros

Las paredes externas son muros portantes de adobe con refuerzos de mampostería de ladrillo cocido en la zona de los vanos y el muro de fachada principal. El acabado es típico: tarrajeados con barro y yeso pintado.

Muros portantes de ladrillo cocido

La fachada delantera de 21m de largo está construida con mampostería de ladrillo cocido y mortero de cal. En los niveles inferiores, tiene un espesor total aproximado de 2.25m y una relación de esbeltez de 2.4 [1]. Es así que la fachada se considera estable, con una baja probabilidad de vuelco lateral.

La fachada principal está en regular estado, sólo existen grietas horizontales entre la fachada inferior y el frontón.

Muros portantes de adobe

Las paredes laterales están construidas de mampostería de adobe con un mortero de barro. Detrás de los pilares de adobe, distribuidos a lo largo de las paredes laterales, se usa ladrillo cocido como refuerzo, junto a las paredes de adobe (Fig. 22).

3.3. Iglesia de Kuño Tambo [1]

La Iglesia de Kuño Tambo es un edificio del siglo XVII que estructuralmente se compone de muros gruesos de adobe y un techo de madera. Se ubica fuera de la ciudad del Cusco en los Andes del sur. Es representativa de las iglesias rurales en tierra del Perú y América del Sur.

3.3.1. Descripción geológica y ambiental

La iglesia está construida sobre un afloramiento de roca natural, con un relleno de arcilla compactada utilizada para nivelar el sitio.



Fig. 23 - Afloramiento visible de roca en el lado este de la Iglesia [1]

El edificio está situado en una zona de riesgo sísmico de nivel 2, según la clasificación del RNE [2]. Como de la iglesia fue construida en el siglo XVII, ha sido sometida a una serie de eventos sísmicos a lo largo de su historia.

La temperatura máxima media anual es de 22°C y la mínima de 3°C. Sin embargo, en el invierno, las temperaturas mínimas pueden caer por debajo de los 0°C. La máxima precipitación media anual es de 1125mm y la mínima de 460mm. Llueve más de 100 días al año.

3.3.2. Contexto y antecedentes históricos

La Comunidad Campesina Kuño Tambo es representativa de los pueblos creados para la población indígena en el Perú del siglo XVI bajo el gobierno del virrey español Francisco de Toledo².

3.3.3. Descripción arquitectónica y estructural

La iglesia de Santiago Apóstol (en adelante referido como la iglesia de Kuño Tambo) es el edificio más prominente en la Comunidad Campesina de Kuño Tambo, un pueblo de 500 habitantes ubicado aproximadamente a 35 kilómetros al sureste de la ciudad del Cusco en la provincia de Acomayo (Fig. 24). La iglesia principal tiene una planta rectangular simple y tiene gruesos muros de adobe y contrafuertes sobre una base o sobrecimiento de mampostería de piedra y un techo de madera a dos aguas, la iglesia de 500m² presenta muchas de las características de diseño y materiales típicos de las iglesias rurales de la región (Fig. 25).

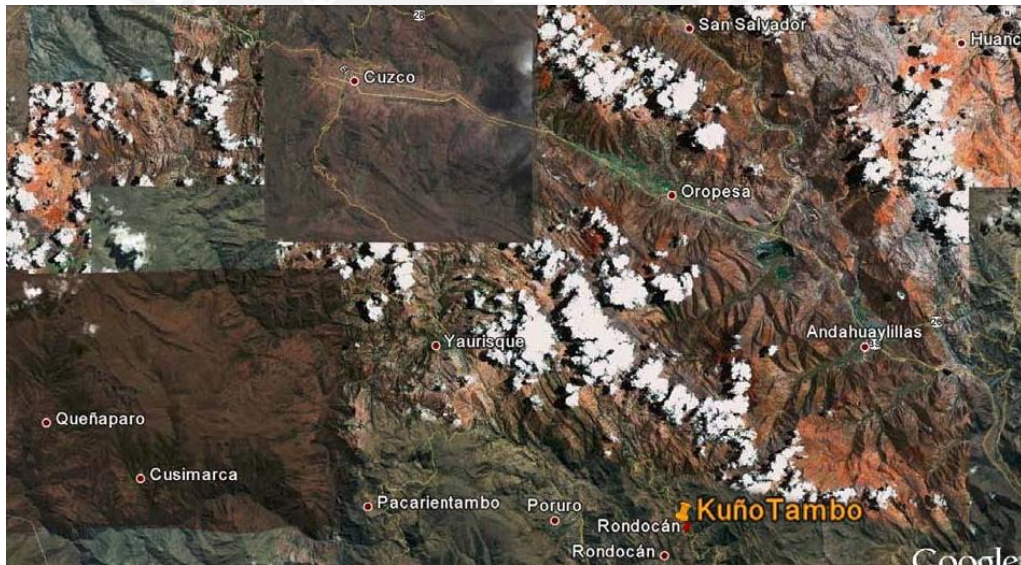


Fig. 24- Ubicación geográfica de Kuño Tambo. Acomayo. Cusco [1]

²El Virrey Francisco de Toledo es considerado el organizador del Virreinato; durante su gobierno, se crearon más de 1000 pueblos indígenas, llamados Reducciones. “Con el impulso toledano, el reordenamiento administrativo y espacial del Virreinato fue generalizado. La Visita dio como resultado un total de 614 repartimientos, 712 doctrinas y más de 1000 reducciones o pueblos de indios” (Málaga Medina, 1993:299). [27]



Fig. 25- Iglesia de Kuño Tambo [1]



Fig. 26- Vista interior de la Iglesia [1]

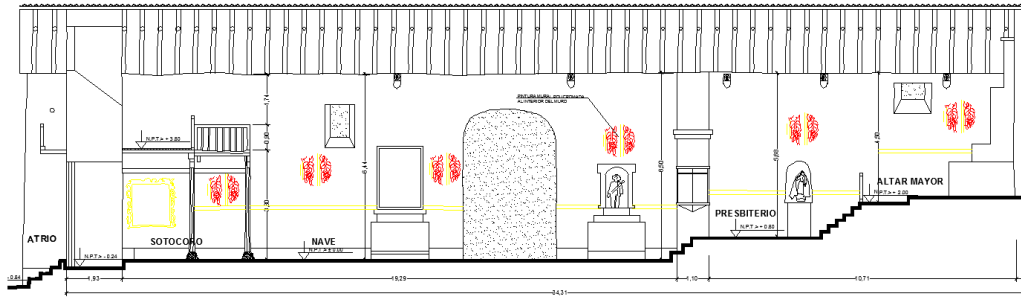


Fig. 28- Disposición de la Iglesia – Elevación interior [1]

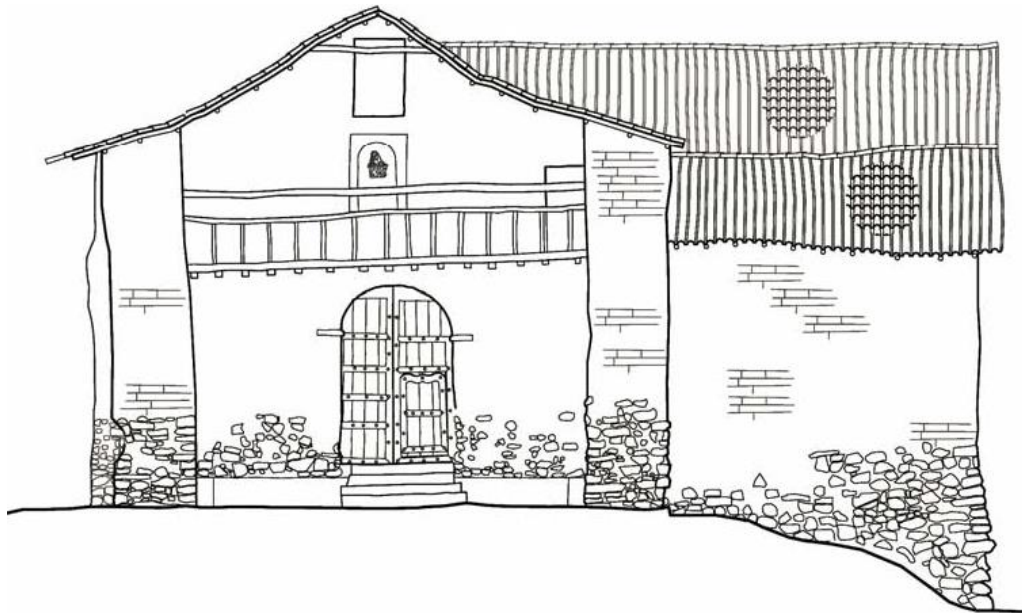


Fig. 29 - Vista frontal fachada principal [1]



Fig. 30- Fachada principal (extremo sur) [1]

3.3.4. Descripción de los elementos estructurales de interés

El siguiente esquema describe los diferentes materiales estructurales, elementos y sistemas que componen la iglesia de Kuño Tambo y su situación actual:

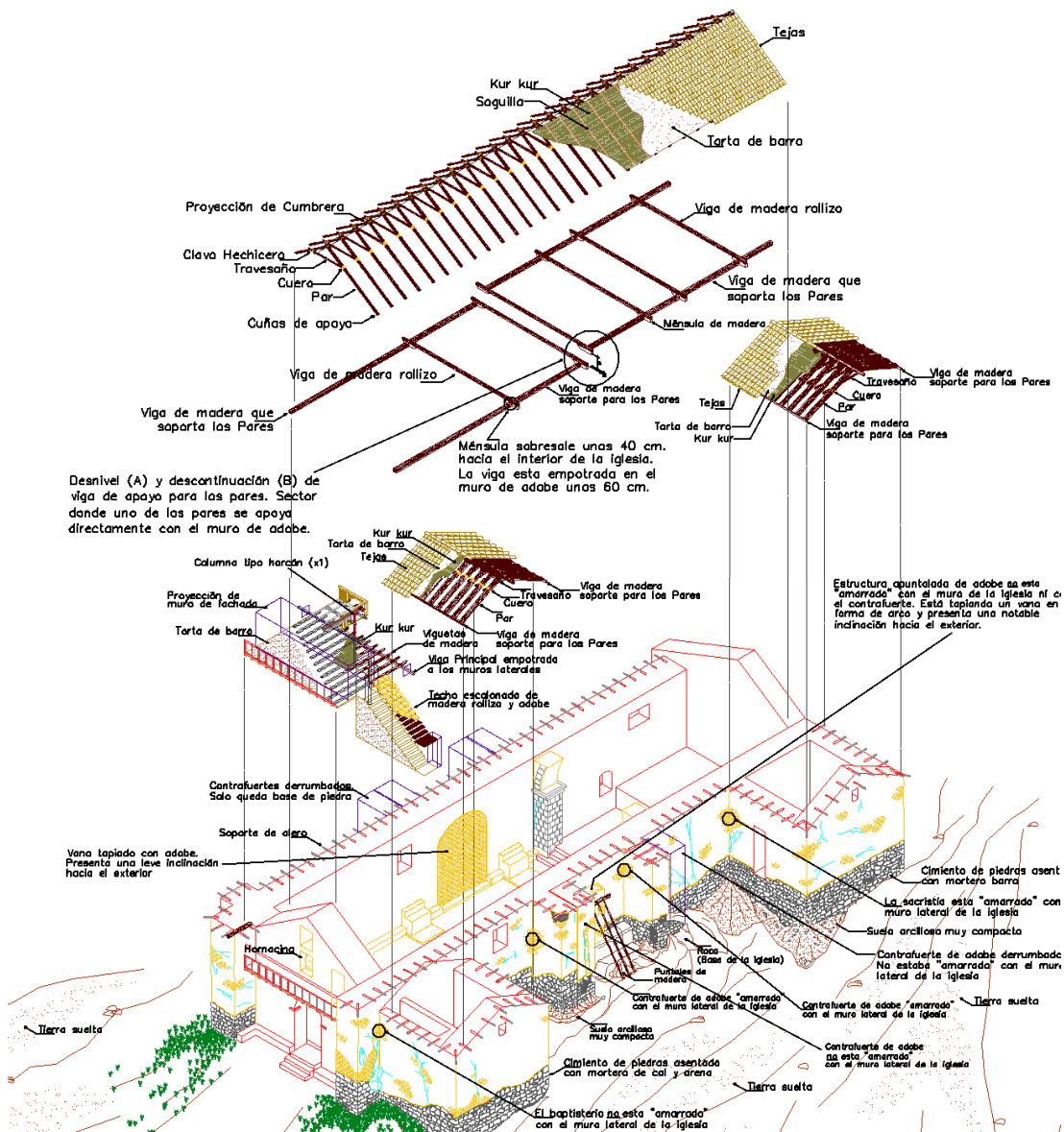


Fig. 31 - Esquema General de la Iglesia Kuño Tambo [1]

3.3.4.1. Base y Cimentación

La cimentación está conformada por mampostería de piedra, apoyada directamente sobre las rocas del suelo natural o sobre un relleno de arcilla compactada. Los cimientos están contruidos con mampostería de piedra asentada con mortero de barro. Las piedras varían en tamaño, con algunas piedras superiores a 0.64m de ancho, mientras que las juntas de mortero varían en un ancho de entre 2 a 6 centímetros. El ancho de la cimentación coincide con el ancho del muro de adobe encima. La cimentación normalmente varía en altura de 1.20 a 1.50m, siguiendo la pendiente natural del terreno.

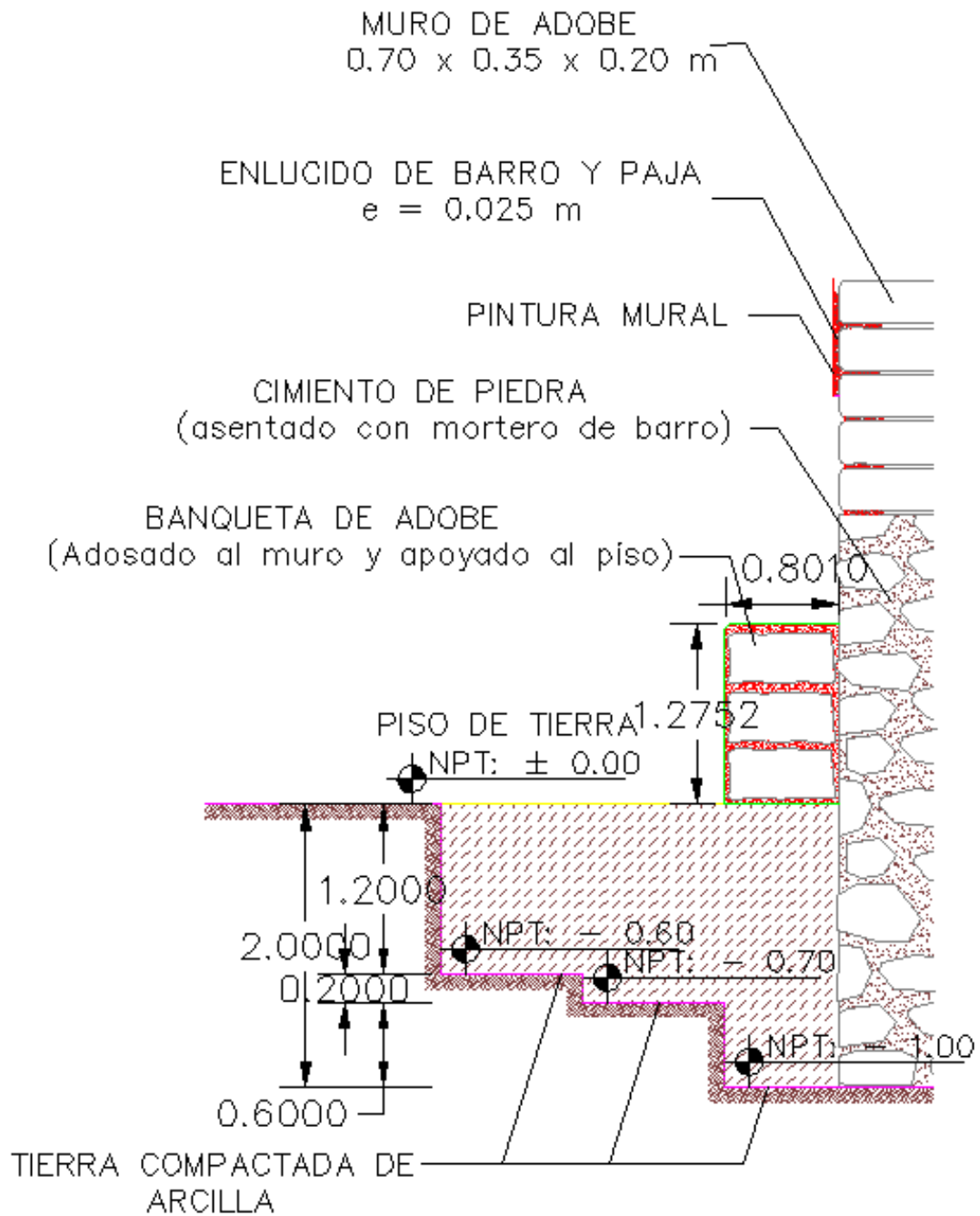


Fig. 32 - Corte cimentación [1]

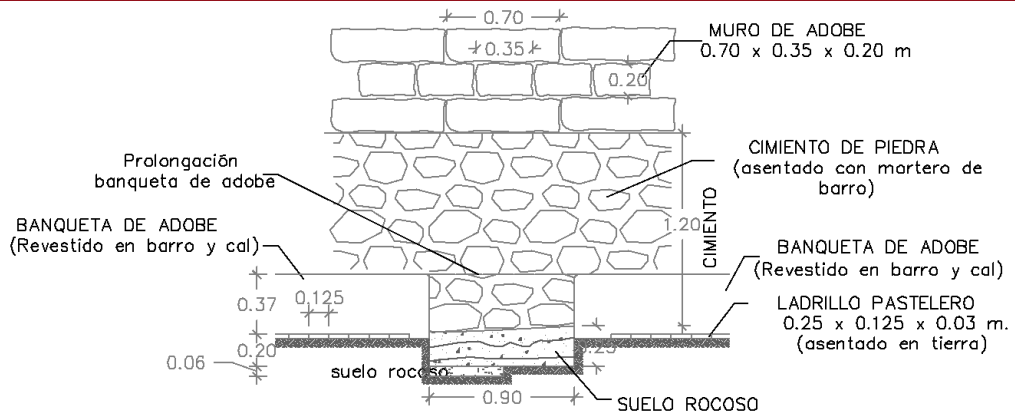


Fig. 33 - Corte cimentación [1]

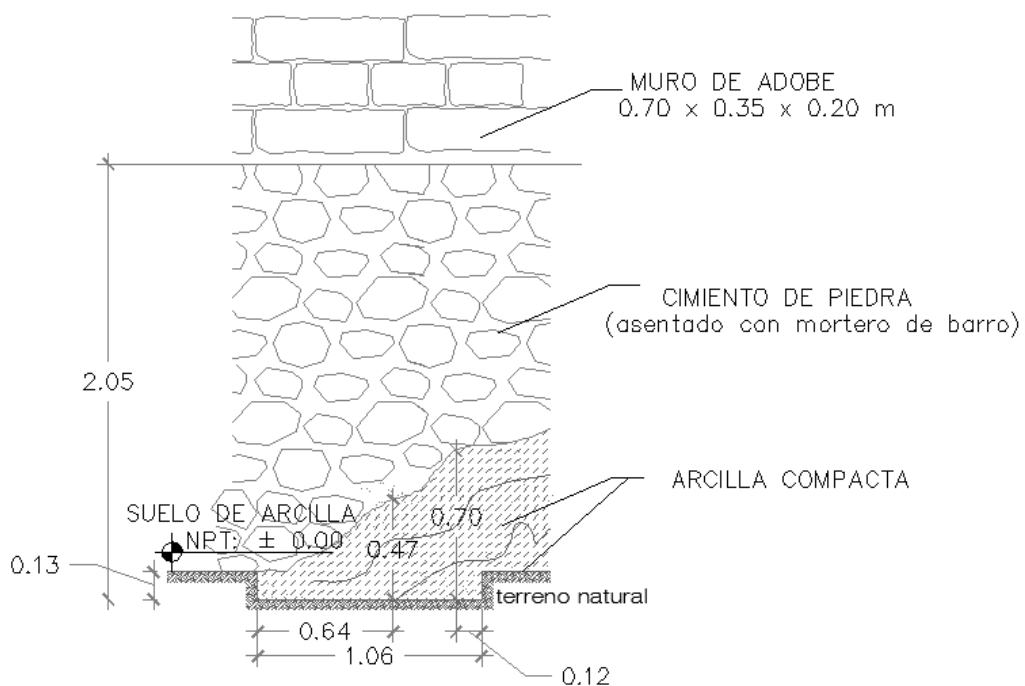


Fig. 34 - Corte cimentación - zona del altar [1]

3.3.4.2. Muros

Los muros portantes son de adobe. Un adobe típico mide 0.70 m de largo x 0.35 m de ancho x 0.20 m de alto. Los adobes están hechos de tierra con pequeñas piedras y paja. Los adobes se colocan sobre un mortero de barro, en el que las juntas horizontales y verticales tienen un espesor promedio de 15mm.

Las paredes varían entre un espesor de 1.4-2 m y en altura desde 3-6 m en los aleros hasta 5.5-8.5 m en los extremos, medidos desde la parte superior visible del cimiento de mampostería de piedra.

Los largos muros laterales de la iglesia principal se han reforzado con contrafuertes de adobe de altura completa y cimentación de piedra. Un contrafuerte de adobe flanquea ambos lados de la abertura rellena en el centro del muro lateral este, y

en el lado sur de esa abertura, un contrafuerte de adobe adicional se ha construido inmediatamente adyacente al norte del contrafuerte original.

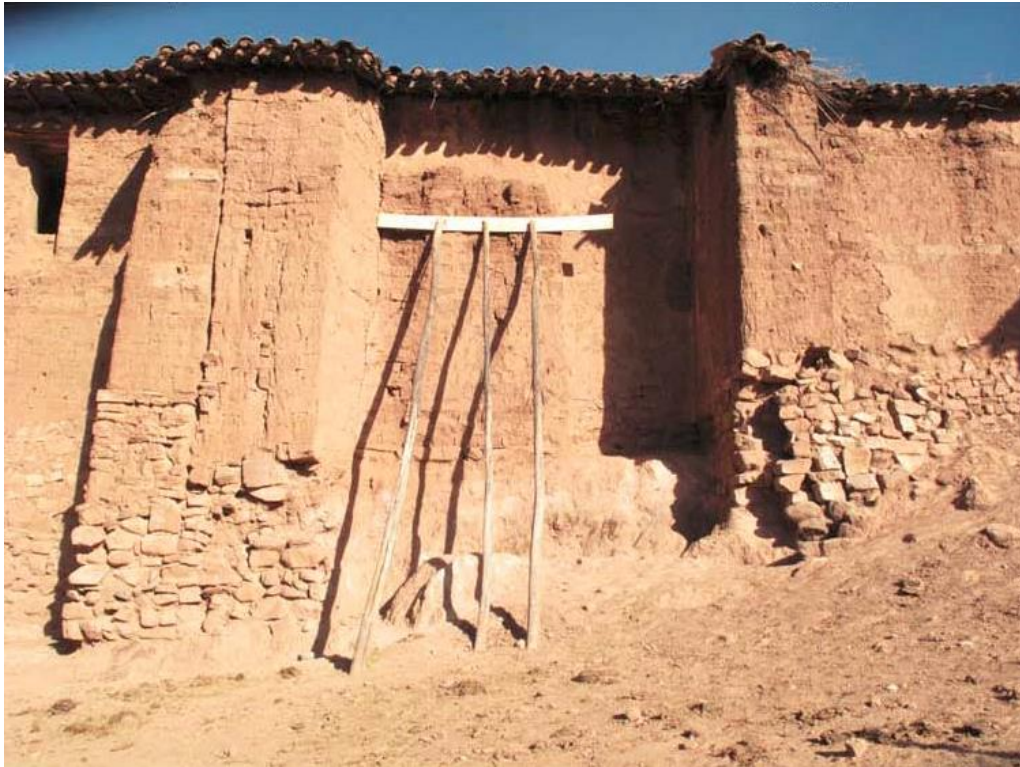


Fig. 35 - Contrafuertes de adobe “amarrados” al muro lateral este [1]



Fig. 36 – Muro lateral oeste de adobe [1]

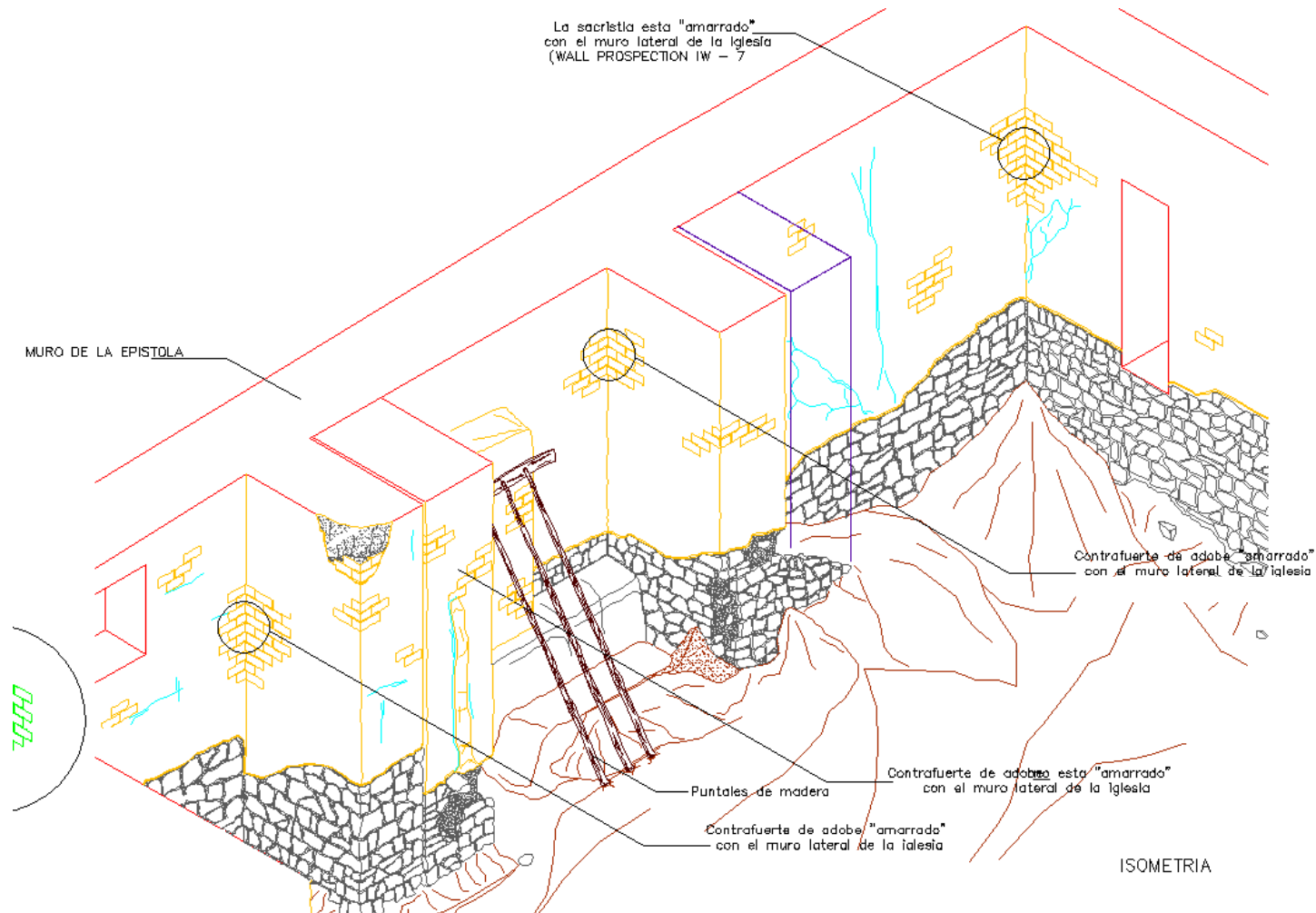


Fig. 37 - Esquema Isométrico de contrafuertes de adobe "amarrados" con el muro lateral este [1]

Capítulo 4. Programa de ensayos experimentales

4.1. Propiedades mecánicas del suelo

El material de los bloques de adobe y mortero fue ensayado usando los siguientes estándares:

- ASTM D 422 [3] Análisis Granulométrico
- ASTM D2487 [4] Clasificación del suelo
- ASTM D2216 [5] Contenido de humedad (w)
- ASTM D4318 [6] Límite líquido (LL)
Límite plástico (LP)
- ASTM D427 [7] Límite de contracción (LC)
- ASTM D854 [8] Gravedad específica de suelos sólidos (Gs)

4.2. Compresión uniaxial en pilas

Las pilas fueron ensayadas en compresión y las deformaciones verticales fueron medidas para obtener el Módulo de Elasticidad. Este fue calculado con la pendiente de la curva esfuerzo a compresión - deformación, tomando en cuenta los valores hasta la tercera parte del máximo esfuerzo registrado. La velocidad de carga fue de 1.5 kN/min. Para el ensayo se usó como referencia la norma británica BS EN 1052-1:1999 [9], el Código Peruano de Adobe E.080 vigente [10] y La Norma Técnica E.070 de Albañilería [11].

4.3. Compresión diagonal en muretes

Las deformaciones horizontales y verticales también fueron medidas para determinar el módulo de corte (G), que fue calculado con la pendiente de la curva esfuerzo – deformación, entre el 20% y 40% del esfuerzo máximo. La velocidad de carga fue de 1kN/min. Para el ensayo se usó como referencia la la norma ASTM E519 [12], el Código Peruano de Adobe E.080 vigente [10] y La Norma Técnica E.070 de Albañilería [11].

4.4. Esfuerzo de compresión en unidades

Los ensayos de esfuerzo de compresión las unidades de adobe se realizaron en cubos de adobe. La arista de los cubos fue la menor dimensión de las unidades de adobe. Para el ensayo se usó como referencia el Código Peruano de Adobe E.080 vigente [10] y La Norma Técnica E.070 de Albañilería [11].

Capítulo 5. Extracción de muestras y construcción de especímenes

Las muestras fueron extraídas de cinco edificaciones. De Lima: El antiguo Hotel Comercio, Casona en Jr. Ancash y la casa Welsch, de Ica: la Catedral de Ica, y de Cusco: la Iglesia de Kuñotambo.

De las edificaciones del Centro Histórico de Lima se extrajeron unidades de adobe y arcilla cocida como muretes de ladrillo directamente de la estructura del edificio. Se extrajo además mortero de cada una de las edificaciones para que la construcción de los especímenes (pilas y muretes) en laboratorio sea lo más idéntica posible a las estructuras en estos edificios.

Para el análisis granulométrico y de propiedades de los suelos se escogió un bloque de adobe y aproximadamente 500g de mortero de barro de cada edificación.

Para la construcción de especímenes en laboratorio se extrajeron directamente bloques de adobe sueltos o de algún muro en cada una de las edificaciones. Los bloques de adobe del Antiguo Hotel Comercio fueron desintegrados de dos muros de uno de los patios secundarios del edificio. La Catedral de Ica estaba siendo apuntalada para evitar que se derrumbe luego de los daños ocasionados por el Terremoto de 2007 por lo que aprovechamos la mayor cantidad de bloques íntegros que se encontraban entre los escombros. De Kuñotambo se obtuvo un bloque de adobe íntegro.

Las pilas y muretes de ladrillo fueron construidos en laboratorio con una pasta de mortero hecha de cal y arena, para luego comparar los resultados y verificar la pérdida de resistencia por los daños en los elementos.

5.1. Extracción de muestras: Hotel Comercio

A diferencia de las demás edificaciones, en el caso del Hotel Comercio además de la recolección de unidades de adobe y ladrillos de arcilla cocida, se extrajeron secciones de un par de muros ubicados entre la habitación 118 y el corredor que sale por el lado izquierdo del patio principal siguiendo el ingreso por el Jr. Carabaya. Para ello se realizó una prospección en el perímetro del muro donde se verificó el mismo sistema constructivo: Cimentación en piedra, sobrecimiento en ladrillo cocido y muro de adobe (por ser el primer piso). Cabe resaltar que esta distribución es idéntica para la Casa Welsch y las demás edificaciones limeñas, con algunas diferencias mínimas en cuanto a dimensiones. De ellos se extrajeron secciones de ladrillo para las pilas y muretes según las dimensiones del diseño de especímenes.



Fig. 38 – Muros de donde se extrajeron las pilas y muretes

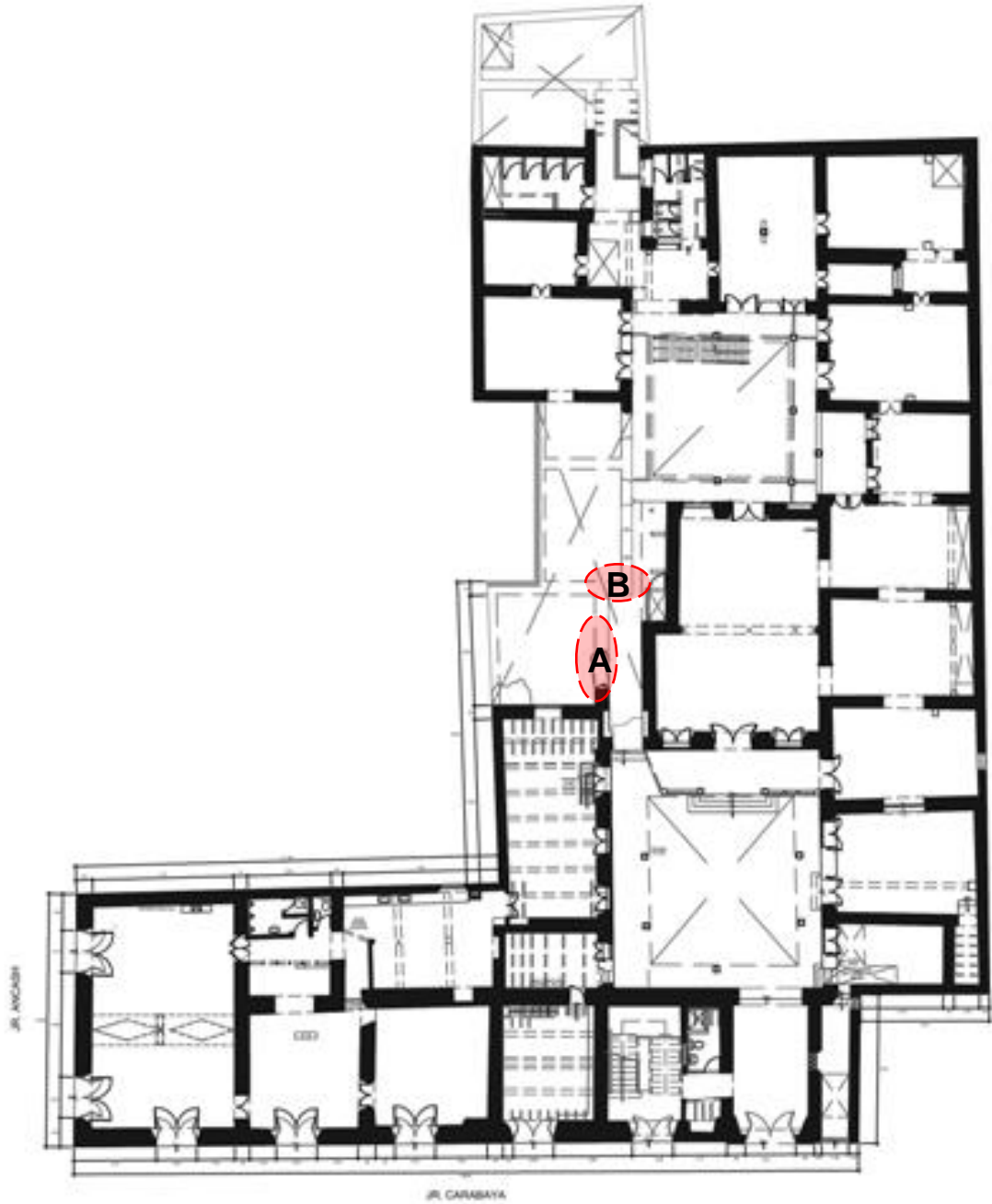


Fig. 39 – Ubicación de donde se extrajo material en el Hotel Comercio [1]

Para la extracción de las secciones de ladrillo se siguió el siguiente procedimiento:

- (1) Se trazó en el muro las secciones a cortar, según las dimensiones de los especímenes previamente calculados.
- (2) Con la ayuda de un esmeril y un disco de corte se procedió al perfilado y corte de las secciones.
- (3) Para evitar que las secciones se desmoronen, una vez que se cortaron los lados laterales, se envolvieron en papel film para embalar. Luego se cortó el lado inferior o base de las secciones y se embalaron en su totalidad.
- (4) Finalmente para su transporte fueron encajonadas con listones de madera que las confinaban al material como anillos en su perímetro.



Fig. 40 – Procedimiento de extracción y embalaje

5.2. Construcción de especímenes

En total se construyeron 59 especímenes:

Tabla 1: Especímenes ensayados

Material	Especímen	Reconstruidos / directamente extraídos / Construidos	Ensayo	Lima			Ica	Cusco
				Hotel Comercio	Jr. Ancash Casa vecina al HC	Casa Welsch	Catedral de Ica	Iglesia de Kuñotambo
33 Adobe	8 Pilas	14 Reconstruidos en laboratorio con mortero recolectado del mismo lugar de origen	Compresión Axial	5	1	2		
	6 Muretes		Compresión diagonal	1		2	3	
	19 Bloques	19 Directamente extraídos	Compresión de unidades	5		5	5	4
17 Ladrillo de arcilla cocida	3 Pilas	5 Reconstruidos en laboratorio con mortero nuevo cal:arena (1:5)	Compresión Axial	3				
	2 Muretes		Compresión diagonal	2				
	5 Pilas	12 Directamente extraídos	Compresión Axial	5				
	2 Muretes		Compresión diagonal	2				
	5 Bloques		Compresión diagonal	5				
9 cal:arena (1:5)	9 Cubos	9 Construidos en laboratorio	Compresión de unidades					

Cabe señalar que todo el mortero nuevo de cal y arena, y los cubos de este material fueron diseñados con una mezcla de cal:arena equivalente a 1:5.

5.2.1. Adobe

a. Pilas de adobe (8)

Se construyeron ocho pilas usando bloques de adobe originales de los muros de las construcciones históricas. El suelo utilizado en el mortero fue obtenido del mortero original de estos muros. Tres pilas fueron construidas con material de la Catedral de Ica y cinco con material de tres edificaciones de barro del Centro Histórico de Lima. Se observó que los bloques de adobe y el mortero de Lima no contienen paja; sin embargo, se estima que los de La Casa Welsch tenían estiércol de animal; lo que le dio un color más oscuro a sus bloques, e hizo que el secado de los especímenes elaborados con este material tome más tiempo. En el caso de Ica, los materiales tampoco contenían paja.

Para la construcción de los especímenes se siguió el siguiente procedimiento: Primero se perfilaron las unidades de adobe (Fig. 41) según las dimensiones de diseño (Tabla 2); luego se presentaron los bloques apilados (Fig. 42), para verificar la altura de la pila (sin mortero) y la planimetría de las superficies; una vez que se tuvieron los bloques listos, se preparó el mortero (Fig. 43) con agua y el suelo de mortero, que ya se había recolectado de las edificaciones en estudio, y se fueron asentando los bloques uno sobre otro, comprobando la verticalidad y horizontalidad de la pila en cada hilera (Fig. 44 y 45). Finalmente se verificaron las dimensiones de las pilas (Fig. 46), se colocó una capa de concreto pobre en la superficie de contacto con la carga (Fig. 47), para transmitir la fuerza uniformemente en toda el área de la sección transversal, y se enumeró cada pila.



Fig. 41 - Construcción de las pilas de adobe (1)



Fig. 42 - Construcción de las pilas de adobe (2)



Fig. 43 - Construcción de las pilas de adobe (3)



Fig. 44 - Construcción de las pilas de adobe (5)



Fig. 45 – Construcción de las pilas de adobe (6)



Fig. 46 – Construcción de las pilas de adobe (7)



Fig. 47 – Construcción de las pilas de adobe (8)

Las dimensiones de las pilas cumplen la proporción 1.3x1x3.1, en promedio; y se detallan a continuación:

Tabla 2: Dimensiones de las pilas de adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)
01	Catedral de Ica	200	150	435	300
02	Catedral de Ica	200	150	430	300
03	Catedral de Ica	200	150	435	300
04	Casa Welsch	200	180	500	360
05	Casa Welsch	155	135	410	209
06	Hotel Comercio	200	145	520	290
07	Hotel Comercio	200	145	520	290
08	Jr Ancash	205	150	515	308

Abreviaciones: a y b, lados de la sección transversal; h, altura de la pila; A, área



b. Muretes de adobe (6)

Se construyeron seis muretes usando bloques de adobe originales; el suelo para el mortero fue obtenido de los muros originales. Tres muretes con material de la Catedral de Ica y otros tres con material del Centro Histórico de Lima: uno del Hotel Comercio y dos de la Casa Welsch. Ellos fueron ensayados en compresión diagonal para obtener la resistencia al corte de la mampostería de adobe.

Para la construcción de los muretes de adobe se siguió el siguiente procedimiento: Primero se perfilaron las unidades de adobe según las dimensiones de diseño (Tabla 3), luego se presentaron los bloques apilados (Fig. 48), para verificar la altura del murete (sin mortero) y la planimetría de las superficies; una vez que se tuvieron los bloques listos, se preparó el mortero con agua y el suelo de mortero, que ya se había recolectado de las edificaciones en estudio, y se fueron asentando los bloques uno sobre otro, comprobando la verticalidad y horizontalidad de la pila en cada hilera (Fig. 49). Finalmente se verificaron las dimensiones de las pilas y se limpió la superficie de mortero (Fig. 50), se colocó una capa de concreto pobre en la esquinas de contacto con la carga (Fig. 51) y se enumeró cada murete.



Fig. 48 – Construcción de los muretes de adobe (1)



Fig. 49 - Construcción de los muretes de adobe (2)



Fig. 50 - Construcción de los muretes de adobe (3)



Fig. 51 – Construcción de los muretes de adobe (4)

Las dimensiones de los muretes cumplen la proporción 2.5x2.5x1, en promedio; y se detallan a continuación:

Tabla 3: Dimensiones de los muretes de adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	e (mm)	A (cm ²)
01	Casa Welsch	425	415	190	1129
02	Casa Welsch	410	420	200	1174
03	Hotel Comercio	425	400	155	905
04	Catedral de Ica	415	375	150	839
05	Catedral de Ica	416	375	145	812
06	Catedral de Ica	410	430	150	891

Abreviaciones: a, ancho; b, altura; e, espesor; A, área de la sección transversal a la carga

c. Cubos de adobe (19)

Se recolectaron bloques de adobe de El Hotel Comercio, la Casa Welsch, la Catedral de Ica y la Iglesia kuño Tambo; se tallaron en cubos de 10cm de lado aproximadamente (salvo en el caso de los de KuñoTambo, como se contaba con un solo bloque se prefirió cortarlo en cuatro), y se les colocó una capa de concreto pobre en la superficie de contacto con la carga.

Se construyeron 19 cubos de adobe, 10 con material procedente de Lima (5 del Hotel Comercio y 5 de la Casa Welsch), 5 de la Catedral de Ica y 4 de Cusco (de la Iglesia Kuño Tambo). Los bloques se cortaron en cubos de 10cm. aproximadamente,



Cat. de Ica – izq
H. Comercio – med
Casa Welsch – der

Fig. 52 – Cubos de adobe a ensayar

Las dimensiones de los cubos se detallan a continuación:

Tabla 4: Dimensiones de los bloques de adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)
01	Catedral de Ica	95	100	90	95
02	Catedral de Ica	98	99	90	97
03	Catedral de Ica	98	100	89	98
04	Catedral de Ica	99	99	89	98
05	Catedral de Ica	98	99	89	97
01	Hotel Comercio	99	100	87	99
02	Hotel Comercio	99	99	88	98
03	Hotel Comercio	100	100	89	100
04	Hotel Comercio	98	99	88	97
05	Hotel Comercio	99	99	88	98
01	Casa Welsch	101	100	71	101
02	Casa Welsch	100	99	71	99
03	Casa Welsch	99	100	70	99
04	Casa Welsch	100	99	71	99
05	Casa Welsch	100	100	71	100
01	Kuño Tambo	133	130	143	173
02	Kuño Tambo	136	138	147	188
03	Kuño Tambo	134	132	145	177
04	Kuño Tambo	135	135	146	182

Abreviaciones: a y b, lados de la sección transversal; h, altura de la pila; A, área

5.2.2. Ladrillo

a. Pilas de ladrillo (8)

Se construyeron ocho pilas de ladrillo con material procedente de Lima, del Antiguo Hotel Comercio. Cinco de ellas fueron directamente extraídas y tres reconstruidas en laboratorio con mortero nuevo de cal y arena (1:5).



Fig. 53 – Sección del muro directamente extraído

Las dimensiones de las pilas cumplen la proporción 1x2x2.3 en promedio, para las pilas de ladrillo directamente extraídas del edificio del que proceden, y 1x2x3.25 en promedio, para las pilas reconstruidas en laboratorio con mortero nuevo. A continuación sus medidas:

Tabla 5: Dimensiones de las pilas de ladrillo

Nro.	a	b	h	A	
Especimen	Origen	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)
Pilas de ladrillo directamente extraídas					
02	Hotel Comercio	130	300	378	390
03	Hotel Comercio	150	300	370	450
04	Hotel Comercio	140	300	385	420
05	Hotel Comercio	160	300	265	480
06	Hotel Comercio	140	300	254	420
Pilas de ladrillo reconstruidas con mortero nuevo					
01	Hotel Comercio	255	128	420	326
02	Hotel Comercio	260	130	420	338
03	Hotel Comercio	260	130	420	338

Abreviaciones: a y b, lados de la sección transversal; h, altura de la pila; A, área

b. Muretes de ladrillo (4)

Se construyeron cuatro muretes de ladrillo con material procedente de Lima, del Antiguo Hotel Comercio. Dos de ellos fueron directamente extraídos y dos reconstruidas en laboratorio con mortero nuevo de cal y arena.

Para la preparación de los muretes de ladrillo se siguió el siguiente procedimiento: Luego de desembalar y limpiar la superficie de las partes de muro (Fig. 54) extraídas directamente del Hotel Comercio, se tuvo que confinar verticalmente con una prensa (Fig. 55), para evitar posibles fisuras durante el transporte y ubicación del espécimen. Una vez ubicados en una superficie llana, se procedió a perfilar la superficie del murete con un esmeril (Fig. 56), verificando que se cumplan las proporciones de diseño en sus lados (Tabla 6). Una vez que se consiguieron las dimensiones adecuadas se colocó una capa de concreto pobre en las esquinas de contacto con la carga y se enumeró cada murete (Fig. 57).



Fig. 54 – Preparación de los muretes de ladrillo (1)



Fig. 55 – Preparación de los muretes de ladrillo (2)



Fig. 56 – Preparación de los muretes de ladrillo (3)



Fig. 57 – Preparación de los muretes de ladrillo (4)

Las dimensiones de los muretes cumplen la proporción 1.5x1.5x1 en promedio, para las pilas de ladrillo directamente extraídas del edificio del que proceden, y 3x3x1 en promedio, para las pilas reconstruidas en laboratorio con mortero nuevo. A continuación sus medidas:

Tabla 6: Dimensiones de los muretes de ladrillo

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	e (mm)	A (cm ²)
Muretes de ladrillo directamente extraído					
01	Hotel Comercio	400	420	280	1624
02	Hotel Comercio	480	490	295	2023
Muretes de ladrillo reconstruido con mortero nuevo					
01	Hotel Comercio	405	400	130	740
02	Hotel Comercio	410	400	135	773

Abreviaciones: a, ancho; b, altura; e, espesor; A, área de la sección transversal a la carga

c. Bloques de ladrillo (5)

Para el ensayo de compresión en unidades de ladrillos se utilizaron cinco bloques en buenas condiciones extraídos del Hotel El Comercio.



Fig. 58 – Bloques de ladrillo – Hotel Comercio

Tabla 7: Dimensiones de los bloques de ladrillo

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)
01	Hotel Comercio	266	134	53	356
02	Hotel Comercio	269	134	52	360
03	Hotel Comercio	263	135	54	354
04	Hotel Comercio	259	132	48	342
05	Hotel Comercio	264	135	55	355

Abreviaciones: a y b, lados de la sección transversal; h, altura de la pila; A, área

d. Mortero de cal y arena (9)

Se construyeron nueve cubos de cal hidráulica comercial y arena (1:5), mismas características que el que se usó para mortero de las pilas y muretes de ladrillo reconstruidos en laboratorio.



Fig. 59 – Bloques de mortero de cal y arena

Ellos se perfilaron según las siguientes dimensiones:

Tabla 8: Dimensiones de los bloques de mortero de cal y arena

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)
A-1	Laboratorio	51	51	51	26
A-2	Laboratorio	52	51	51	26
A-3	Laboratorio	51	51	51	26
A-4	Laboratorio	51	51	52	26
A-5	Laboratorio	52	51	52	26
A-6	Laboratorio	51	51	52	26
A-7	Laboratorio	51	51	51	26
A-8	Laboratorio	51	51	51	26
A-9	Laboratorio	51	50	50	26

Abreviaciones: a y b, lados de la sección transversal; h, altura de la pila; A, área

Capítulo 6. Resultados

6.1. Albañilería de Adobe

6.1.1. Propiedades del suelo de los bloques de adobe y morteros históricos

La clasificación de suelos por análisis granulométrico fue realizada para cinco bloques de adobe diferentes y cinco morteros diferentes, obtenidos de construcciones históricas.

La proporción de material es similar en ambos suelos: entre el 30 y 40% de material grueso y entre 60 y 70% de material fino. Sin embargo, luego de comparar a mayor detalle las curvas granulométricas del suelo del adobe y el mortero según su procedencia, se pudo verificar que:

- Para la Catedral de Ica y la casa Welsch el contenido de arenas y gravas es el mismo en el suelo del mortero y del adobe; sin embargo el adobe presentaba mayor cantidad de finos, limos y arcillas. (Fig. 62 y Fig. 63)
- Para la casa aledaña al Hotel Comercio en el Jr. Ancash el adobe presentaba más arenas y gravas, mientras que el mortero más contenido de limos y arcillas. (Fig. 65)
- Para el Hotel Comercio ambas curvas se encontraban casi superpuestas; sin embargo la curva granulométrica del mortero muestra una ligera diferencia por encima de la del adobe, lo que denota mayor presencia de finos. (Fig. 64)

En la Casa Welsch, el contenido de finos es mayor que en el resto de los lugares (80%), así como el porcentaje de humedad en el suelo. En general la composición del suelo en las unidades de adobe y mortero presentan arcilla baja plasticidad, con

una mayor presencia de limos en los bloques de adobe de la catedral de Ica. Además se pudo detectar visualmente la presencia de bosta en los adobes extraídos de la Casa Welsch.

El límite líquido (LL) varía entre 27 y 32%, el límite plástico (LP) entre 17 y 20%. Las gravedades específicas varían entre 2.64 y 2.67.

Tabla 9: Clasificación SUCS, límites de Atterberg y gravedad específica del suelo de los bloques de adobe

Origen		SUCS	% de arena #4-#200	% de Finos #200	% w	LL	LP	IP	LC	Gs
Lima	Hotel Comercio	CL	38.3	56.8	0.06	0.32	0.2	0.12	0.15	2.65
Lima	Jr. Ancash	CL	31.9	67.7	0.041	0.27	0.16	0.11	0.13	2.64
Lima	Casa Welsch	CL	17.9	82.1	0.095	0.3	0.17	0.13	0	2.66
Ica	Catedral de Ica	CL-ML	33.6	66.3	0.038	0.26	0.19	0.07	0.15	2.66
Cusco	Kuño Tambo	CL	39.3	60.7	0.039	0.3	0.19	0.11	0.14	2.58

Abreviaciones: w, % de humedad en la muestra; LL, límite líquido; LP, límite plástico; IP, índice de plasticidad; LC, límite de contracción; GS, gravedad específica

Tabla 10: Clasificación SUCS, límites de Atterberg y gravedad específica del suelo de los morteros

Origen		SUCS	% de arena #4-#200	% de Finos #200	% w	LL	LP	IP	LC	Gs
Lima	Hotel Comercio	CL	38.8	59.6	0.059	0.3	0.19	0.11	0.14	2.66
Lima	Jr. Ancash	CL	34.8	62	0.05	0.3	0.18	0.12	0.15	2.65
Lima	Casa Welsch	CL	18.1	80.2	0.115	0.32	0.18	0.14	0.12	2.64
Ica	Catedral de Ica	CL	35	64.3	0.037	0.27	0.18	0.09	0.15	2.67

Abreviaciones: w, % de humedad en la muestra; LL, límite líquido; LP, límite plástico; IP, índice de plasticidad; LC, límite de contracción; GS, gravedad específica

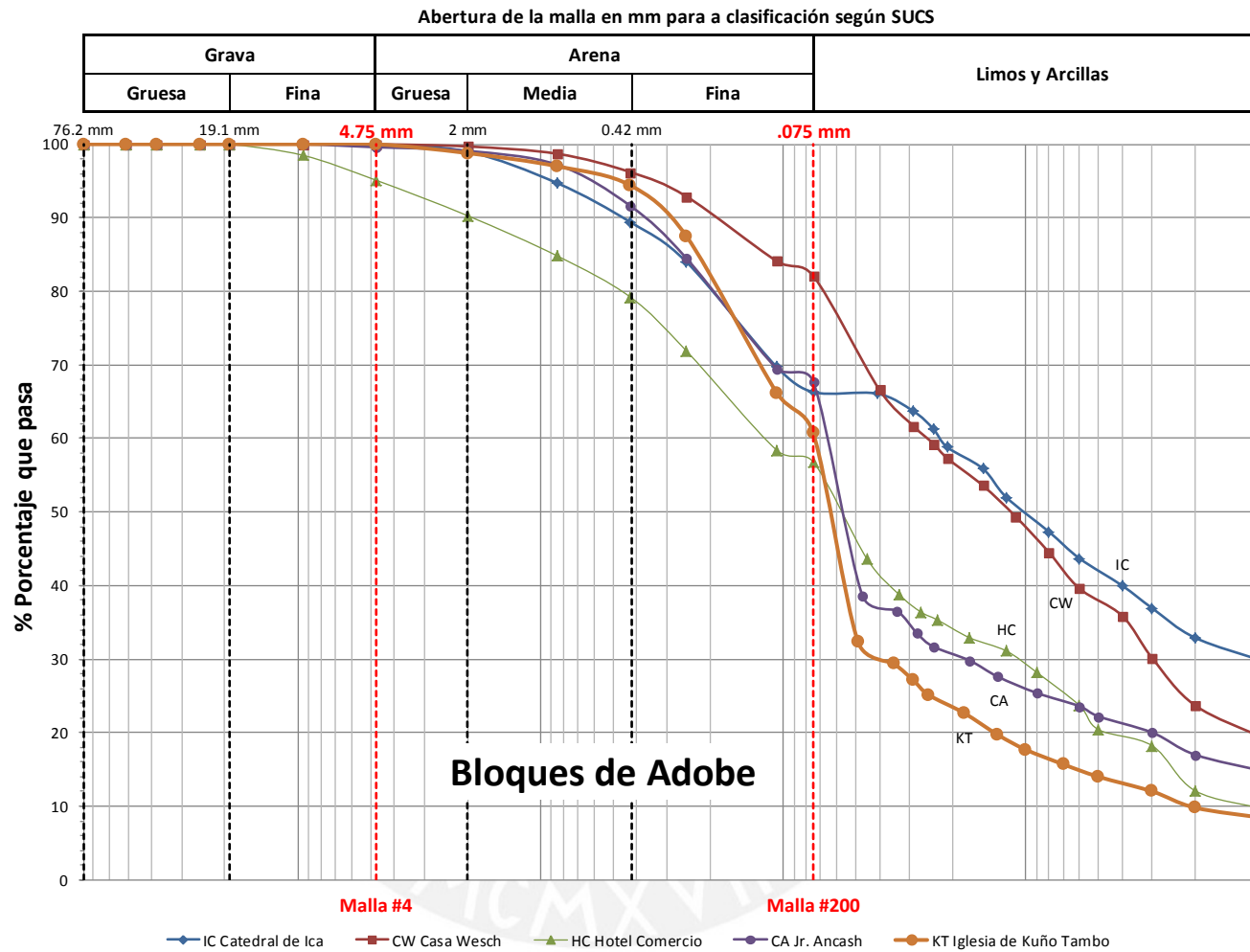


Fig. 60 – Curva granulométrica de los bloques de adobe

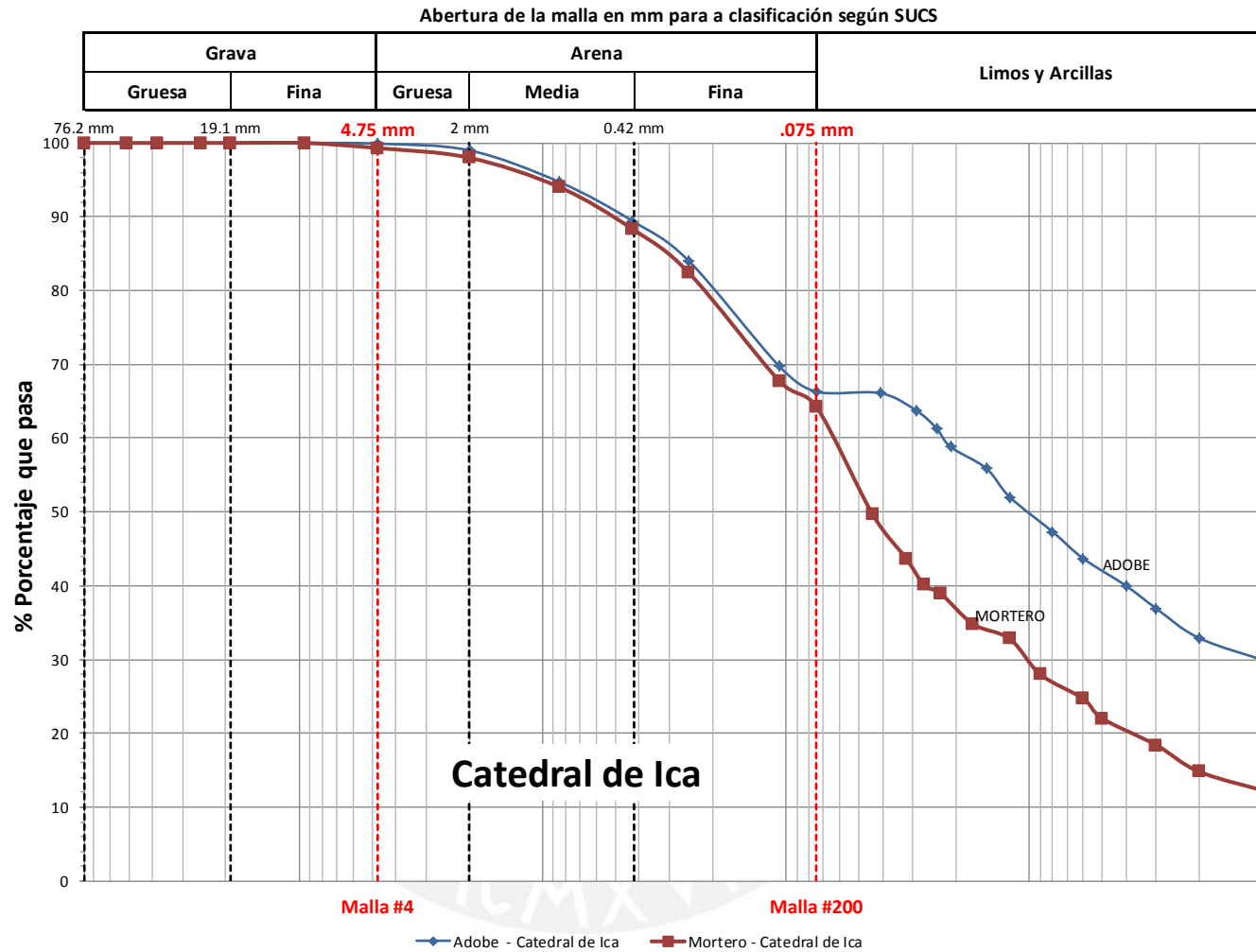


Fig. 62 – Curva granulométrica del mortero y adobe – Catedral de Ica

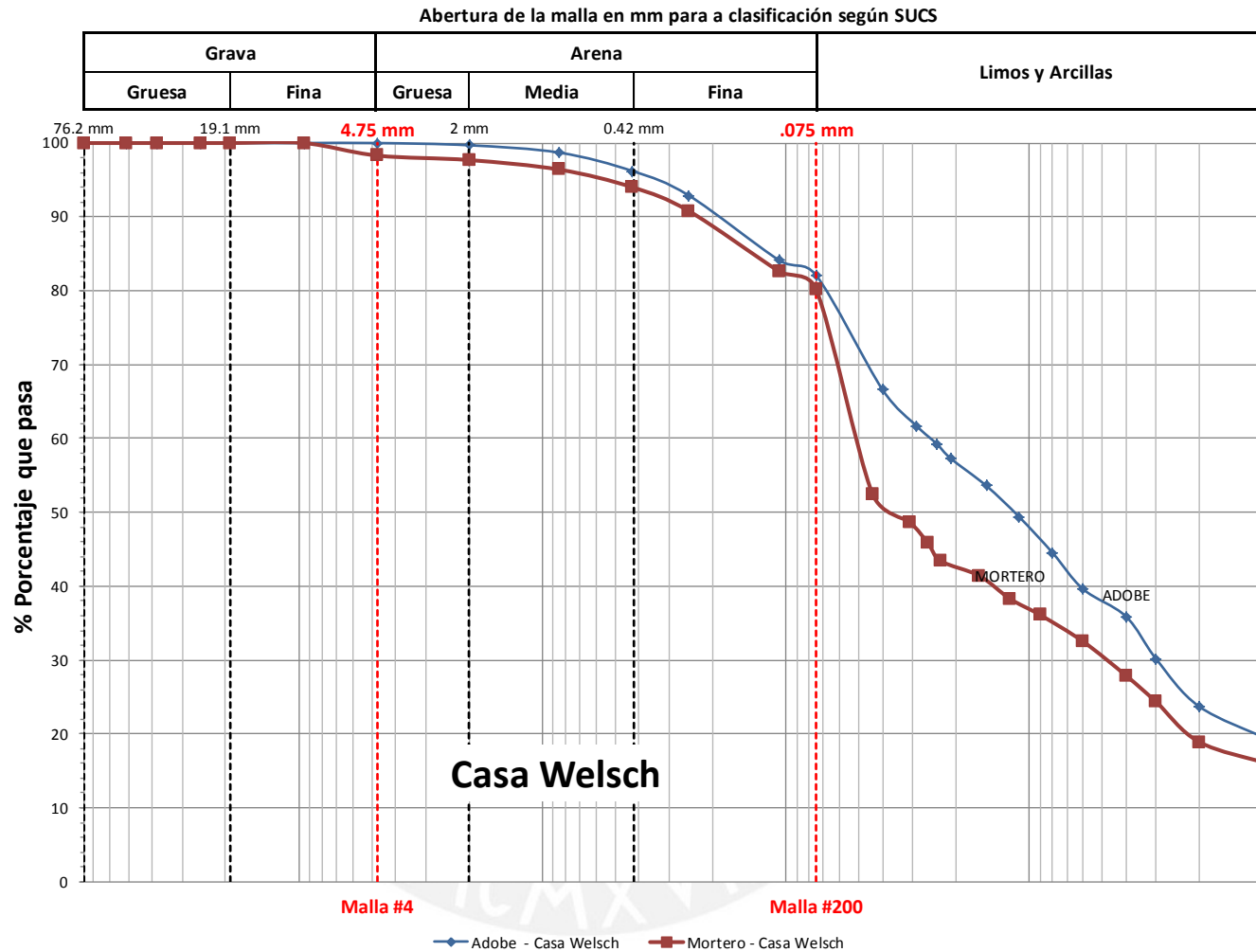


Fig. 63 – Curva granulométrica del mortero y adobe – Casa Welsch

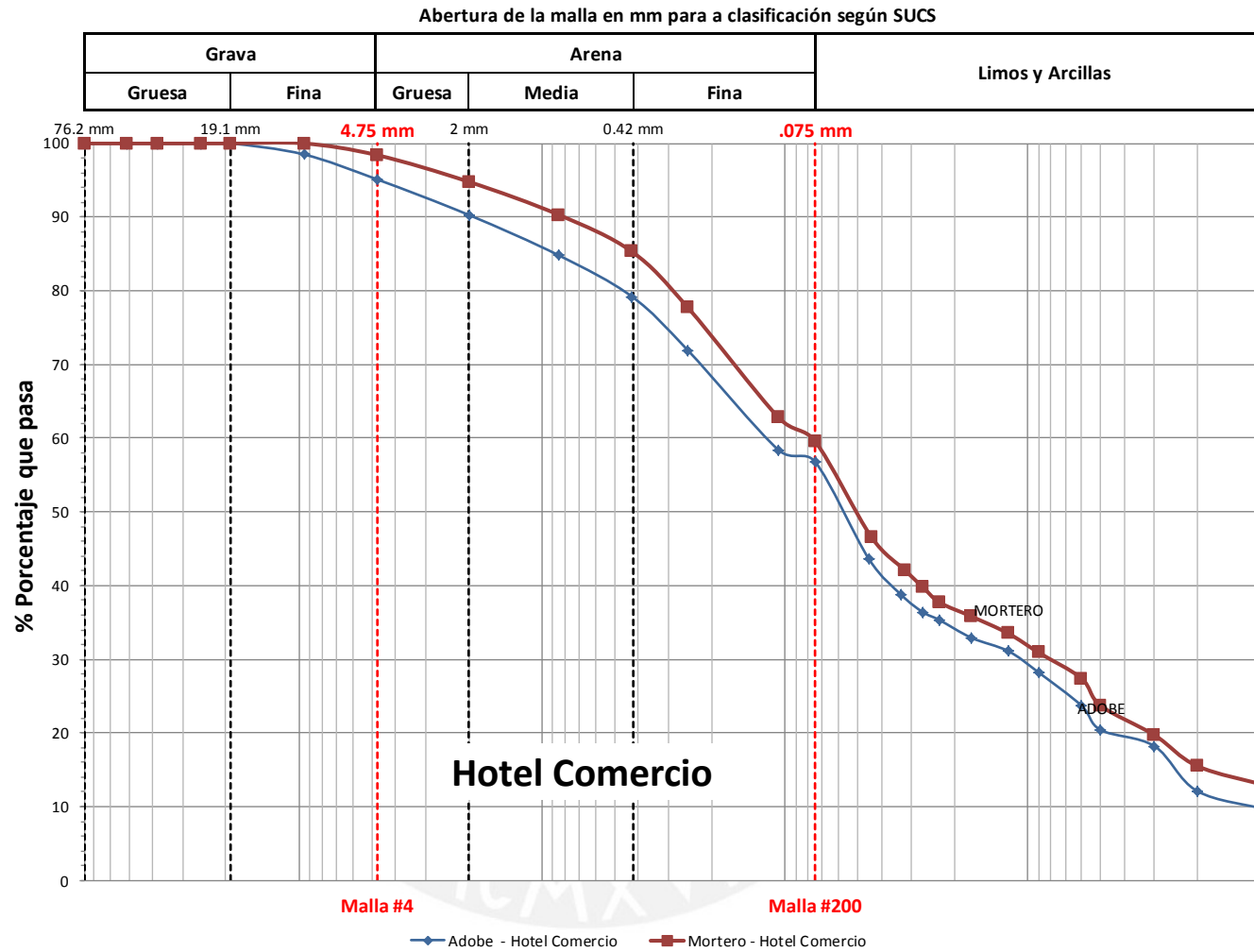


Fig. 64 – Curva granulométrica del mortero y adobe – Hotel Comercio

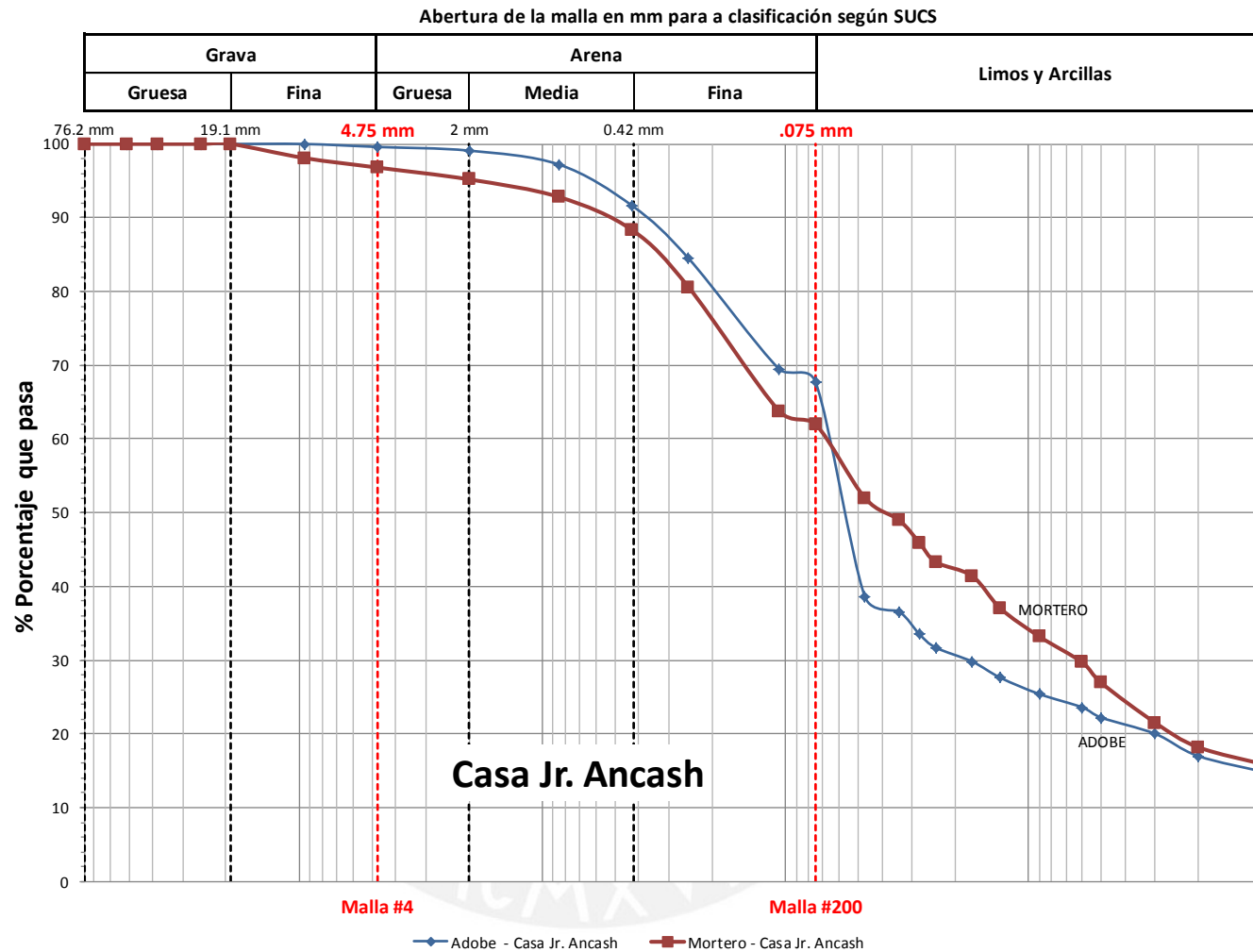


Fig. 65 – Curva granulométrica del mortero y adobe – Casa Jr. Ancash

6.1.2. Compresión uniaxial en pilas

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11: Compresión Axial – Pilas de adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom (Mpa)	M. Young E (MPa)	M. Young E Prom (MPa)
01	Catedral de Ica	200	150	435	300	14.028	0.467	0.463	104.2	97.8
02	Catedral de Ica	200	150	430	300	14.360	0.479		95.5	
03	Catedral de Ica	200	150	435	300	13.293	0.443		93.7	
04	Casa Welsch	200	180	500	360	14.067	0.391	0.488	48.4	48.7
05	Casa Welsch	155	135	410	209	12.240	0.585		48.9	
06	Hotel Comercio	200	145	520	290	12.171	0.420	0.392	74.9	67.6
07	Hotel Comercio	200	145	520	290	10.568	0.364		60.3	
08	Jr Ancash	205	150	515	308	23.264	0.756	0.756	106.4	106.4

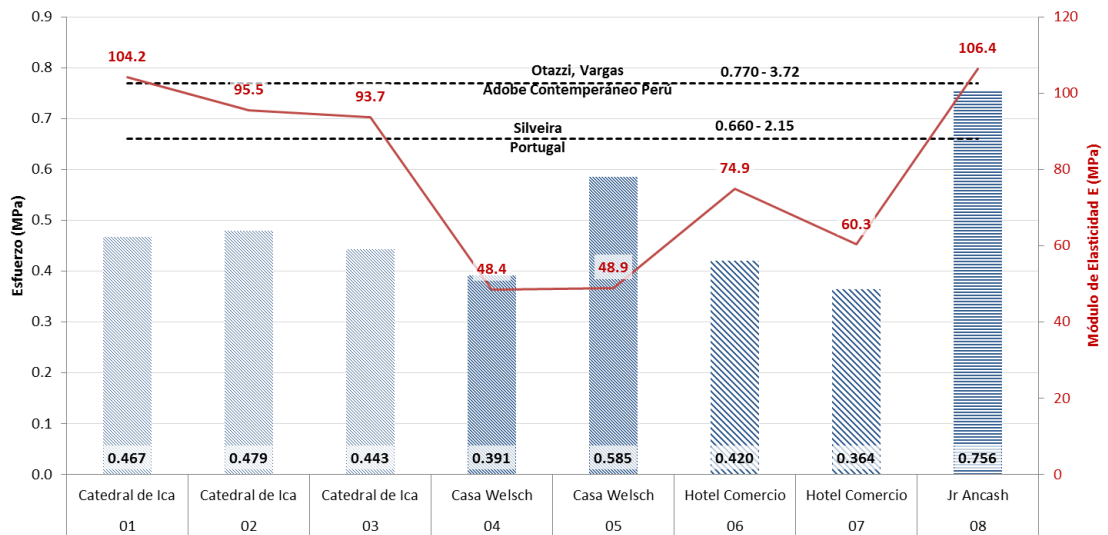


Fig. 66 – Gráfico ensayo de compresión axial - adobe



PA1
Catedral de Ica



PA2
Catedral de Ica



PA3
Catedral de Ica



PA4
Casa Welsch



PA5
Casa Welsch



PA6
Hotel Comercio



PA8
Jr. Ancash

Fig. 67 – Pilas de adobe ensayadas

Se observó que el tipo de falla en todos los especímenes de pilas de adobe es la grieta típica vertical que corre a través de las unidades y el mortero (Fig. 49). El promedio de esfuerzo a compresión de las pilas construidas con material del Centro Histórico de Lima fue de 0.44MPa y su desviación estándar es 0.17.

Las pilas de la Catedral de Ica tienen un esfuerzo último a compresión promedio de 0.463Mpa, y una desviación estándar de 0.02; en este caso, la variabilidad no es significativa. En la literatura disponible se observa que edificaciones existentes de adobe en Portugal el esfuerzo a compresión en la albañilería de adobe está entre 0.66 y 2.15MPa [1][13]. Los valores hallados en análisis experimentales de adobes peruanos nuevos son más altos, entre 0.77MPa y 3.72MPa [14] [15] [16].

Los resultados del módulo de Young son muy variables. Los valores están entre 48.89MPa y 106.42MPa. Las fuentes bibliográficas también indican variación en sus resultados, entre 33 y 448MPa [17] [14] [15] [18] [19] [20] [21] [22].

6.1.3. Compresión diagonal en muretes

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12: Compresión Diagonal – Muretes de adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	e (mm)	A (cm2)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom (Mpa)	Mód. E. Corte G (MPa)	Mód. E. Corte G Prom (MPa)
01	Casa Welsch	425	415	190	1129	3.757	0.033	0.042	8.005	5.450
02	Casa Welsch	410	420	200	1174	5.868	0.050		2.895	
03	Hotel Comercio	425	400	155	905	1.240	0.014	0.014	26.240	26.240
04	Catedral de Ica	415	375	150	839	0.858	0.010	0.028	49.160	22.911
05	Catedral de Ica	416	375	145	812	3.464	0.043		6.733	
06	Catedral de Ica	410	430	150	891	2.639	0.030		12.840	

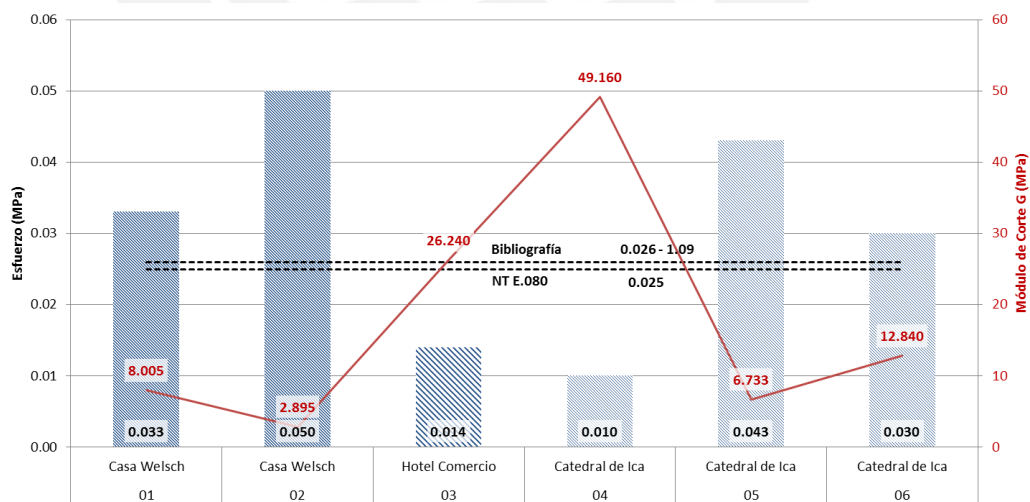


Fig. 68 – Gráfico ensayo de compresión diagonal – adobe



MA1
Casa Welsch



MA2
Casa Welsch



MA3
Hotel Comercio



MA4
Catedral de Ica



MA5
Catedral de Ica



MA6
Catedral de Ica

Fig. 69 – Muretes de adobe ensayados

Los resultados de los ensayos de muretes de adobe con materiales del Centro Histórico de Lima dieron como promedio 0.032Mpa, similar a los resultados de la Catedral de Ica que presentan un promedio de 0.028Mpa.

Se observó una gran dispersión en la capacidad de carga máxima en comparación con los ensayos de pilas con el mismo material, los valores están entre 0.01MPa y 0.05MPa. En ambos casos, la desviación para las muestras de Lima e Ica son 0.02. Las fuentes bibliográficas muestran valores entre 0.026MPa y 0.109MPa [14] [15] [18] [20] [23] [24] [25]. El esfuerzo de corte último en el código peruano es de 0.025MPa [10].

Por otro lado, la dispersión es aún más grande cuando se trata del módulo de corte (G), estos valores están entre 2.90MPa y 49.16MPa. En cuanto a las referencias bibliográficas, los valores están entre 30.2MPa y 39.8MPa [18] [20] [23].

La dispersión puede ser entendible por el patrón de falla. En los muretes, las grietas no son iguales en todos los especímenes. El patrón de grieta ideal es vertical, de la esquina más alta a la más baja; sin embargo, las grietas corren por las juntas.

6.1.4. Esfuerzo a la compresión en unidades

La siguiente tabla resume los resultados:

Tabla 13: Compresión en unidades – adobe

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom Unid (Mpa)
01	Catedral de Ica	95	100	90	95	6.200	0.652	0.589
02	Catedral de Ica	98	99	90	97	5.700	0.587	
03	Catedral de Ica	98	100	89	98	6.390	0.652	
04	Catedral de Ica	99	99	89	98	6.060	0.618	
05	Catedral de Ica	98	99	89	97	4.210	0.434	
01	Hotel Comercio	99	100	87	99	16.340	1.650	1.669
02	Hotel Comercio	99	99	88	98	14.970	1.527	
03	Hotel Comercio	100	100	89	100	15.900	1.589	
04	Hotel Comercio	98	99	88	97	17.810	1.835	
05	Hotel Comercio	99	99	88	98	17.090	1.743	
01	Casa Welsch	101	100	71	101	14.650	1.450	1.353
02	Casa Welsch	100	99	71	99	12.570	1.269	
03	Casa Welsch	99	100	70	99	14.200	1.434	
04	Casa Welsch	100	99	71	99	12.700	1.282	
05	Casa Welsch	100	100	71	100	13.280	1.328	
01	Kuño Tambo	133	130	143	173	14.610	0.845	0.712
02	Kuño Tambo	136	138	147	188	12.230	0.651	
03	Kuño Tambo	134	132	145	177	8.510	0.481	
04	Kuño Tambo	135	135	146	182	15.900	0.872	

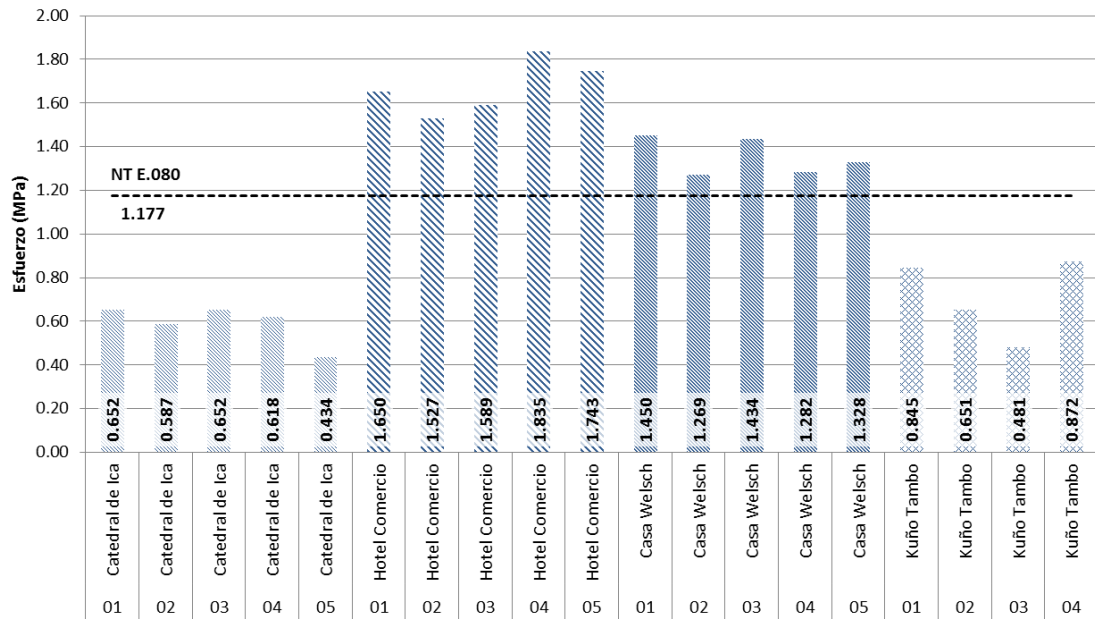


Fig. 70 – Bloques de adobe ensayados

Las unidades de adobe de la Catedral de Ica presentan menor resistencia a compresión que las unidades extraídas del Centro Histórico Lima y la Iglesia de Kuño Tambo del Cusco. Asimismo las unidades del Hotel Comercio presentan mayor resistencia en toda la muestra y es similar a los resultados de la Casa Welsch, que también se ubica en el Centro Histórico de Lima. El Código Peruano de Adobe E.080 considera 1.2MPa como el esfuerzo mínimo de resistencia a la rotura en compresión para bloques de adobe nuevos.



Cat. de Ica – izq
H. Comercio – med
Casa Welsch – der

BA1 BA2 BA3 BA4
Kuña Tambo

Bloques ensayados
Hotel Comercio

Bloques ensayados
Catedral de Ica

Bloques ensayados
Kuña Tambo

Fig. 71 – Bloques de adobe ensayados (1)



BA1
C. de Ica

BA2
C. de Ica

BA3
C. de Ica

BA4
C. de Ica

BA5
C. de Ica

Fig. 72 – Bloques de adobe ensayados (2)



Fig. 73 – Bloques de adobe ensayados (3)



Fig. 74 – Bloques de adobe ensayados (4)

6.1.5. Resumen de los resultados de los ensayos en adobe

A continuación se muestra una tabla que resume los resultados del adobe:

Tabla 14: Resultados promedio según procedencia del material - Adobe

	ADOBE					
	COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS		COMP. DIAGONAL DE MURETES		COMPRESIÓN DE UNIDADES	
	Esfuerzo Mpa	E Mpa	Esfuerzo Mpa	G Mpa	Esfuerzo Mpa	Relación Pila/Unid
Hotel Comercio	0.392	67.618	0.014	26.240	1.669	0.235
Jr. Ancash	0.756	106.422				
Casa Welsch	0.488	48.667	0.042	5.450	1.353	0.361
LIMA Promedio	0.545	74.236	0.028	15.845	1.511	0.298
ICA Catedral de Ica	0.463	97.808	0.028	22.911	0.589	0.786
CUSCO Iglesia de Kuñotambo					0.712	
Código Peruano de Adobe E.080	0.200		0.025		1.177	0.167
Otras Investigaciones (Ref. bibliográficas)	0.66 - 2.15	33 - 448	0.026 - 0.109	30.2 - 39.8		

La resistencia a la compresión de las unidades extraídas supera a los valores indicados en la NTE 0.80 de adobe [10] para unidades de adobe, solo en Lima. Sin embargo la resistencia axial en pilas y diagonal en muretes es superior a las que indica el código peruano de adobe.

6.2. Albañilería de Ladrillo Cocido

6.2.1. Compresión uniaxial en pilas

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 15: Compresión Axial – Pilas de ladrillo cocido

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom (Mpa)	M. Young E (MPa)	M. Young E Prom (MPa)
Pilas de ladrillo directamente extraídas										
02	Hotel Comercio	130	300	378	390	47.117	1.208	1.695	169.3	209.8
03	Hotel Comercio	150	300	370	450	65.399	1.453		58.5	
04	Hotel Comercio	140	300	385	420	63.672	1.515		370.6	
05	Hotel Comercio	160	300	265	480	87.823	1.829		124.2	
06	Hotel Comercio	140	300	254	420	103.750	2.469		326.3	
Pilas de ladrillo reconstruías con mortero de cal y arena										
01	Hotel Comercio	255	128	420	326	211.146	6.469	6.039	579.3	558.6
02	Hotel Comercio	260	130	420	338	166.213	4.918		454.6	
03	Hotel Comercio	260	130	420	338	227.515	6.731		641.9	

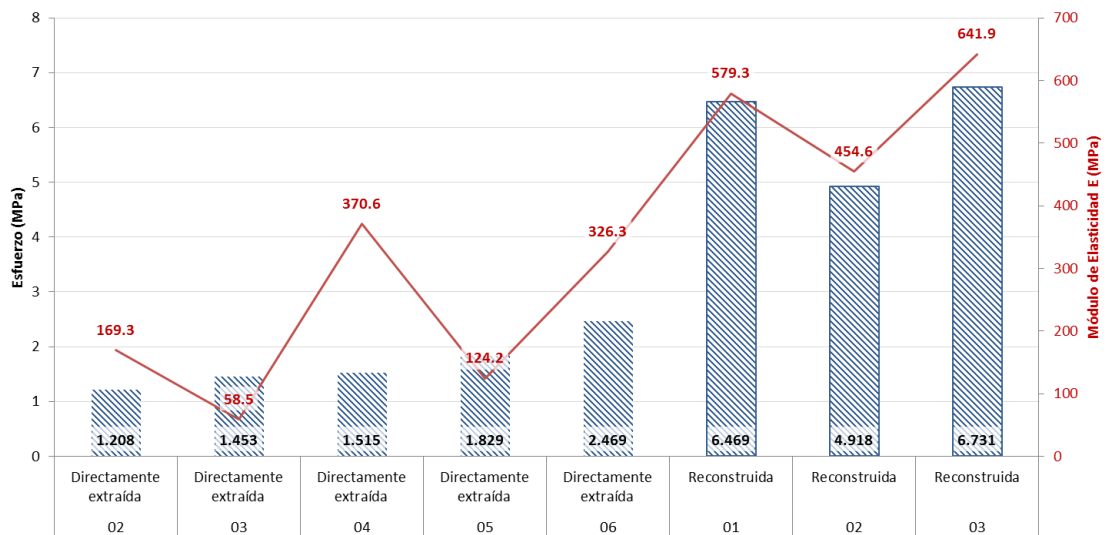


Fig. 75 – Gráfico ensayo de compresión axial – ladrillo



PL2
Hotel Comercio

PL3
Hotel Comercio

PL4
Hotel Comercio

PL5
Hotel Comercio

PL6
Hotel Comercio

Fig. 76 – Pilas de ladrillo directamente extraídas



PLCa1
Hotel Comercio



PLCa2
Hotel Comercio



PLCa3
Hotel Comercio

Fig. 77 – Pilas de ladrillo reconstruidas en laboratorio

Los ladrillos se hallaron en buenas condiciones. Sin embargo, el mortero de cal existente era heterogéneo en su composición, frágil y presentaba poca adherencia al ladrillo; por lo que la falla principalmente se dio por la fractura del mortero. El promedio de esfuerzos últimos o de rotura a compresión de las pilas de mampostería de ladrillo extraídas es de 1.70Mpa. La resistencia de las pilas que se fabricaron con ladrillo histórico y mortero nuevo presentaron un promedio de 6.04Mpa. La Norma Técnica E.070 de Albañilería indica una resistencia de 3.4MPa, para ladrillos artesanales, y 6.4MPa, para ladrillos industriales [11]. Los resultados se encuentran por debajo de estos valores, salvo las pilas reconstruidas con mortero nuevo.

Los Módulos de Young de las pilas extraídas presentaron gran dispersión. En el caso de las pilas reconstruidas se hallaron valores relativamente cercanos entre sí, 558.6MPa en promedio.

6.2.2. Compresión diagonal en muretes

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16: Compresión Diagonal – Muretes de ladrillo cocido

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	e (mm)	A (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom (Mpa)	Mód. E. Corte G (MPa)	Mód. E. Corte G Prom (MPa)
Muretes de ladrillo directamente extraído										
01	Hotel Comercio	400	420	280	1624	22.739	0.140	0.157	2.579	18.427
02	Hotel Comercio	480	490	295	2023	35.350	0.175		34.275	
Muretes de ladrillo reconstruido con mortero de cal y arena										
01	Hotel Comercio	405	400	130	740	40.924	0.553	0.554	468.680	403.350
02	Hotel Comercio	410	400	135	773	42.833	0.554		338.020	

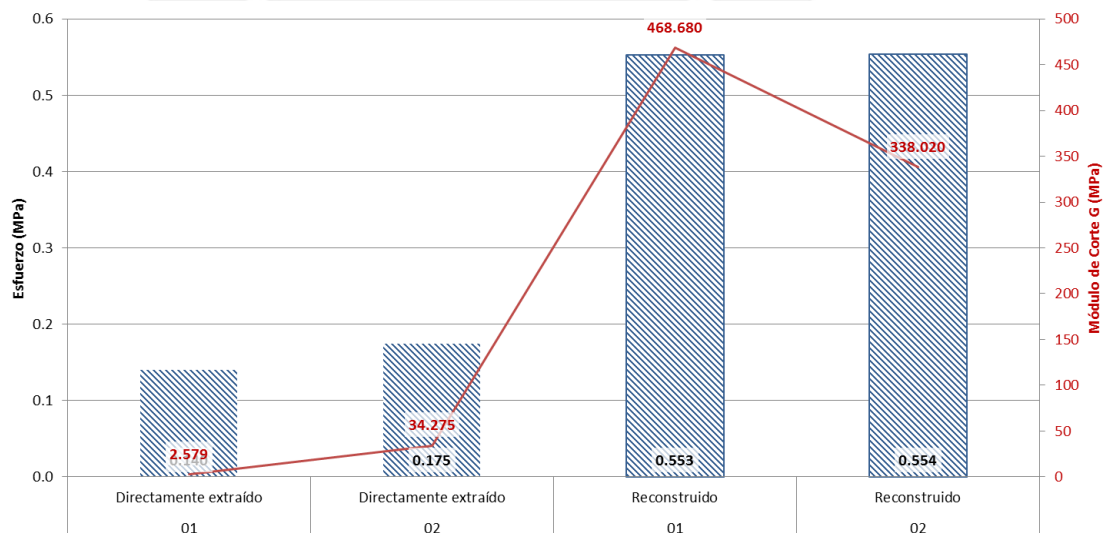


Fig. 78 – Gráfico ensayo de compresión diagonal - ladrillo



ML1
Hotel Comercio

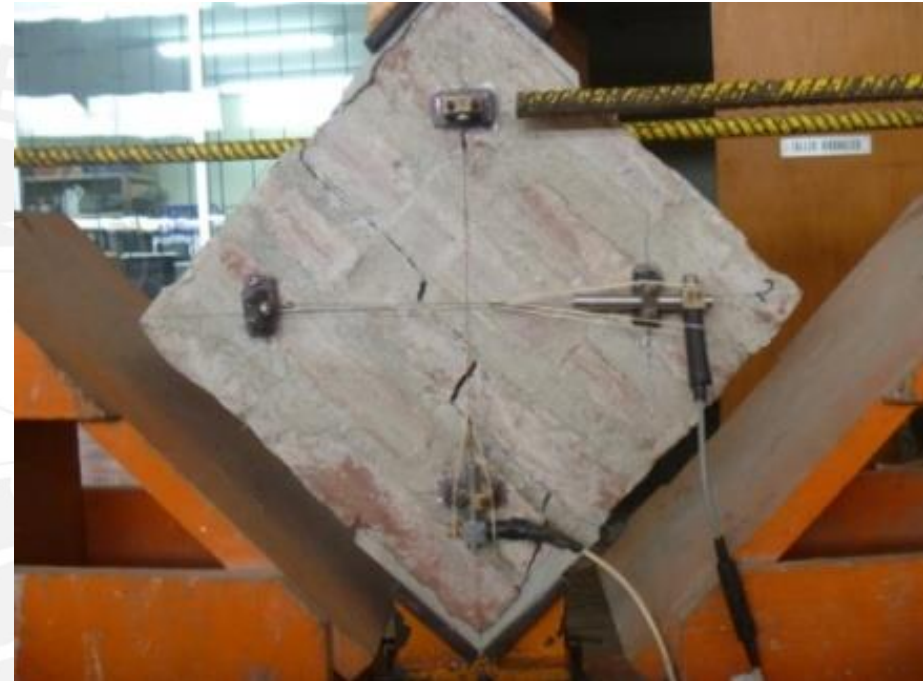


ML2
Hotel Comercio

Fig. 79 – Muretes de ladrillo directamente extraídos



MLCa1
Hotel Comercio



MLCa2
Hotel Comercio

Fig. 80 – Muretes de ladrillo reconstruidos con mortero nuevo de cal y arena

El promedio de la resistencia última al corte de los dos muretes directamente extraídos del Hotel Comercio es de 0.157Mpa. Los dos muretes reconstruidos con ladrillos del Hotel Comercio y mortero nuevo de cal y arena que se ensayaron a los 60 días de haber sido elaborados, presentan una resistencia promedio de 0.553Mpa. La Norma Técnica E.070 de Albañilería indica una resistencia a la compresión diagonal de muretes de 0.5MPa, para ladrillos artesanales, y 0.8MPa, para ladrillos industriales [11]. Los resultados de los muretes directamente extraídos se encuentran por debajo de estos valores; mientras que los muretes reconstruidos con mortero nuevo, que se encuentran muy próximos a la resistencia que indica para muretes de ladrillos artesanales (0.5MPa).

Los valores de G también resultaron dispersos; variaron entre 2.58MPa, en unos de los muretes con material directamente extraído, y 468.68MPa, en uno de los reconstruidos en laboratorio con mortero nuevo.

6.2.3. Esfuerzo a la compresión en unidades

Los resultados, en la siguiente tabla:

**Tabla 17: Compresión de unidades -
Bloques de ladrillo y de mortero nuevo de cal y arena**

Nro. Especimen	Origen	a (mm)	b (mm)	h (mm)	A (cm ²)	Carga (KN)	Esfuerzo (MPa)	Esfuerzo Prom Unid (Mpa)
Bloques de ladrillo								
01	Hotel Comercio	266	134	53	356	403.800	11.325	12.501
02	Hotel Comercio	269	134	52	360	409.300	11.351	
03	Hotel Comercio	263	135	54	354	490.600	13.864	
04	Hotel Comercio	259	132	48	342	434.100	12.693	
05	Hotel Comercio	264	135	55	355	471.400	13.271	
Mortero de cal y arena								
A-1	Laboratorio	51	51	51	26	5.500	2.115	3.663
A-2	Laboratorio	52	51	51	26	7.100	2.703	
A-3	Laboratorio	51	51	51	26	6.250	2.403	
A-4	Laboratorio	51	51	52	26	8.600	3.306	
A-5	Laboratorio	52	51	52	26	11.100	4.226	
A-6	Laboratorio	51	51	52	26	10.350	3.979	
A-7	Laboratorio	51	51	51	26	11.150	4.329	
A-8	Laboratorio	51	51	51	26	12.700	4.980	
A-9	Laboratorio	51	50	50	26	12.550	4.922	



Bloques de Ladrillo
Hotel Comercio



Cubos Mortero de Cal

Fig. 81 – Bloques de ladrilla cocida (izq.) y mortero nuevo de cal y arena (der)

El promedio de los resultados de los ensayos a compresión de las unidades de ladrillo es 12.51 MPa. La Norma Técnica E.070 de Albañilería indica una resistencia de 5.4MPa, para ladrillos artesanales, y 14.2MPa, para ladrillos industriales [11]. Los resultados se encuentran entre estos valores.

El promedio de los ensayos a compresión del mortero de cal – arena fue de 3.66MPa. Además, en base a las medias, se pudo determinar la relación resistencia Pila/Unidad, equivalente a 0.14.

6.2.4. Resumen de los resultados de los ensayos en adobe

A continuación se muestra una tabla que resume los resultados del adobe:

Tabla 18: Resultados promedio según procedencia del material – Ladrillo de arcilla cocida

	LADRILLO					
	COMPRESIÓN AXIAL DE PILAS		COMP. DIAGONAL DE MURETES		COMPRESIÓN DE UNIDADES	
	Esfuerzo Mpa	E Mpa	Esfuerzo Mpa	G Mpa	Esfuerzo Mpa	Relación Pila/Unid
Hotel Comercio Directamente extraídos	1.70	209.81	0.16	18.43	12.50	0.14
Hotel Comercio Reconstruídos en lab.	6.04	558.59	0.55	403.35	12.50	0.48
NTE E.070 ALBAÑILERÍA Arcilla: King Kong Artesanal	3.40		0.50		5.40	
NTE E.070 ALBAÑILERÍA Arcilla: King Kong Industrial	6.40		0.80		14.20	

La resistencia a la compresión de las unidades extraídas supera a los valores indicados en la NTE 0.70 de albañilería [11] para unidades de King Kong artesanal, con lo que podríamos deducir que los ladrillos de arcilla cocida se encuentran en buen estado. Por ello se puede afirmar que, tanto en pilas como en muretes, la disminución de la resistencia en la mampostería se debe principalmente al deterioro del mortero, ya que con mortero nuevo de cal / arena se obtienen valores entre 3 y 4 veces mayores que con el mortero original.

Capítulo 7. Conclusiones finales

7.1. Sobre el adobe

Los ensayos de análisis del suelo en laboratorio muestran que la composición del suelo de los bloques de adobe y el mortero es la misma, con lo que se podría deducir que por lo común se usaba el mismo material para ambas funciones cuando se construía la mampostería. La proporción de material es similar en ambos suelos: entre el 30 y 40% de material grueso y entre 60 y 70% de material fino. Sin embargo, de la superposición de las curvas de adobe y mortero según su origen, se pudo verificar que el mortero y el adobe de la Catedral de Ica y la casa Welsch presentan un mismo contenido de arenas y gravas mientras que el adobe presentaba mayor cantidad de finos, limos y arcillas. (Fig. 62 y Fig. 63). La casa aledaña al Hotel Comercio en el Jr. Ancash el adobe presentaba más arenas y gravas, mientras que el mortero más contenido de limos y arcillas (Fig. 65). El suelo del mortero y el adobe del Hotel Comercio es casi el mismo, sin embargo el mortero muestra un ligero exceso de finos por encima del adobe. (Fig. 64)

En la Casa Welsch, el contenido de finos es mayor que en el resto de los lugares (80%), así como el porcentaje de humedad en el suelo. Además se pudo detectar visualmente la presencia de bosta en los adobes extraídos de esta edificación. Ni las muestras de adobe de Lima e Ica presentaron paja en su composición, ocasionalmente usado en otras edificaciones. En general la composición del suelo presenta arcilla baja plasticidad, con una mayor presencia de limos en los bloques de adobe de la catedral de Ica. El límite líquido (LL) está entre 27 y 32%, el límite plástico (LP) entre 17 y 20%. Las gravedades específicas varían entre 2.64 y 2.67.

Los ensayos de compresión axial en pilas de adobe muestran una resistencia de 0.44MPa como promedio para las edificaciones históricas de Lima, y de 0.463MPa para la Catedral de Ica. Cabe señalar que la desviación estándar es más significativa en el caso de Lima (0.17, mientras que las de Ica 0.02) debido a que para las de Lima se toman muestras de tres edificaciones, siendo las del Jr. Ancash, las más resistentes. Estos valores se encuentran por debajo de los de otras investigaciones idénticas en edificaciones existentes en otros países como Portugal (0.66 a 2.15MPa [17] [13]), y de los valores hallados en análisis experimentales de adobes peruanos nuevos (0.77MPa y 3.72MPa [14] [15] [16]); Los resultados del módulo de Young son muy variables. Los valores están entre 48.89MPa y 106.42MPa. Las fuentes bibliográficas también indican variación en sus resultados, entre 33 y 448MPa [17] [14] [15] [18] [19] [20] [21] [22].

Los ensayos de compresión diagonal en muretes de adobe muestran resultados muy próximos en promedio para los materiales del Centro Histórico de Lima, 0,032MPa, y la Catedral de Ica, 0.028MPa. Sin embargo si revisamos los resultados de manera individual en cada ensayo la dispersión es mayor (de 0.01 a 0.05MPa en el caso de Lima) a los resultados que se obtuvieron en la compresión de pilas. La desviación estándar es de 0.02 en las muestras de Lima e Ica. Los valores, en promedio, se encuentran dentro del rango de valores hallado en otras investigaciones peruanas (0.026MPa y 109MPa [14] [15] [18] [20] [23] [24] [25]) y por encima de la resistencia última al corte en el Código Peruano de adobe E.080

(0.025MPa [10]). Los módulos de corte G presentan una dispersión más amplia, los valores van de 2.9 a 49.16MPa; las referencias bibliográficas indican valores entre 30.2MPa y 39.8MPa [18] [20] [23].

La compresión de unidades muestra que los adobes de la Catedral de Ica son los que presentan menor resistencia (0.58MPa); mientras que las de Lima, las de mayor valor (1.511MPa). Además del cociente de la resistencia a compresión de pilas entre el de unidades se pudo determinar la relación Pila/Unid. El Código Peruano de Adobe E.080 considera 1.2MPa como el esfuerzo mínimo de resistencia a compresión de bloques de adobe nuevos y 0.167MPa como valor mínimo para la relación de esfuerzos pila/unid [10]; los resultados se encuentran por encima de dichos valores en ambos casos.

7.2. Sobre el ladrillo

En cuanto a los ensayos en la albañilería de arcilla cocida, solo se pudo analizar material del Antiguo Hotel Comercio. Algunos especímenes fueron directamente extraídos del muro de origen y otros fueron reconstruidos en laboratorio con mortero nuevo de cal y arena.

El ensayo de compresión axial de pilas de mampostería de ladrillo directamente extraídas es de 1.70Mpa. Mientras que los de las pilas que se fabricaron con ladrillo histórico y mortero nuevo presentaron un promedio de 6.04Mpa, 3.5 veces los valores de las pilas directamente extraídas. Los resultados de las pilas con material directamente extraído se encuentran por debajo de las resistencias que indican la NTE E.070 (3.4MPa), mientras que las pilas reconstruidas en laboratorio pasan este valor [11]. Debido a la fragilidad de los especímenes, los Módulos de Young (E) de las pilas extraídas presentaron gran dispersión. En el caso de las pilas reconstruidas se hallaron valores relativamente cercanos entre sí, 558.6MPa en promedio.

Se ensayaron cuatro muretes de ladrillo cocido a compresión diagonal: dos con material directamente extraído del muro de la edificación de origen y dos construidos en laboratorio con mortero nuevo de cal y arena. El promedio de la resistencia al corte de los dos muretes directamente extraídos del Hotel Comercio es de 0.157Mpa, mientras que el de los dos muretes reconstruidos de 0.553Mpa. Los resultados de los muretes con material directamente extraído se encuentran por debajo de la resistencia que indica la NTE E.070 (0.5MPa) [11]; sin embargo, los muretes reconstruidos con mortero nuevo se encuentran muy próximos por encima. Los valores del módulo de corte G resultaron dispersos.

El promedio de los resultados de los ensayos a compresión de ladrillos de arcilla cocida es de 12.51Mpa y se encuentra por encima de la resistencia de unidades que indica la NTE E.070 para ladrillos artesanales (5.4MPa) [11]. El promedio de los ensayos a compresión del mortero de cal – arena fue de 3.66MPa. Además, en base a las medias, se pudo determinar la relación resistencia Pila/Unid, equivalente a 0.14.

Tanto en pilas como en muretes, se puede afirmar que la disminución de la resistencia en la mampostería se debe al deterioro del mortero principalmente, ya

Pontificia Universidad Católica del Perú - Facultad de Ciencias e Ingeniería
Tesis para optar el título de Ingeniero Civil
Luiggi Vargas Díaz

que con un nuevo mortero de cal / arena se obtienen valores entre 3 y 4 veces mayores que con el mortero original.

Ello también se puede verificar en la comparación de los resultados obtenidos y los valores indicados por la NTE E.070, que sobrepasan la resistencia de las pilas y muretes directamente extraídos; pero se encuentran muy próximos, o por debajo, de los reconstruidos en laboratorio. Las resistencias obtenidas en la compresión axial de las unidades de ladrillo también superan la resistencia que indica la NTE E.070 para ladrillos de arcilla construidos artesanalmente. Con lo que se podría concluir que los ladrillos se encuentran en buen estado; sin embargo el mortero de cal y arena se encuentra deteriorado y débil por los factores ya mencionados.



Bibliografía

- [1] C. Cancino, S. Lardinois, D. D'Ayala, C. Fonseca, D. Torrealva, E. Vicente y L. Villacorta, Seismic Retrofitting Project: Assessment of Prototype Buildings, 2012.
- [2] NTE E.030 Diseño Sismoresistente, RNE, 2006.
- [3] ASTM D422-02 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [4] ASTM D2487-11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [5] ASTM D2216-05 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [6] ASTM D4318-00 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [7] ASTM D427 Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method (Withdrawn 2008), West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [8] ASTM D854-06 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [9] Methods of test for masonry - Part 1: Determination of compressive strength, London: BSI - British Standards Institution.
- [10] NTE E.080 Código Peruano de Adobe, RNE, 2006.
- [11] NTE E.070 Albañilería, RNE, 2006.
- [12] ASTM E519/E519 - 10 6 Standard Test Methods for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages., West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- [13] D. Silvera, H. Varum y A. Costa, Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks. Construction and Building Materials, 2013.
- [14] G. Ottazzi, J. Yep, M. Blondet, M. Villa-García y F. Ginoccio, Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe, Pontificia Universidad Católica del

Perú, Departamento de Ingeniería, 1989.

- [15] J. Vargas y G. Ottazzi, Investigaciones en adobe, Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección de Ingeniería Civil, 1981.
- [16] J. Vargas, J. Bariola, M. Blondet y P. Mehta, Seismic strength of adobe masonry, Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil, 1984.
- [17] D. Silveira, H. Varum, A. Costa, T. Martins, H. Pereira y J. Almeida, Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials*, 2012.
- [18] L. Yamin, C. Phillips, J. Reyes y D. Ruiz, Seismic behavior and rehabilitation alternatives for adobe and rammed earth buildings. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., 2004.
- [19] E. Quagliarini, S. Lenci y M. Iorio, Mechanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa, *Journal of Cultural Heritage*, 2010.
- [20] H. Varum, A. Costa, H. Pereira y J. Almeida, Comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe, Aveiro: Division of Civil Engineering, University of Aveiro, 2006.
- [21] O. Hernández, Evaluación experimental de procedimientos para reforzar vivienda de adobe y hacerla resistente ante la acción sísmica, Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1981.
- [22] S. S. Mahini, A. Eslami y H. Ronagh, Lateral performance and load carrying capacity of unreinforced, 2012.
- [23] J. Vargas, N. Bariola y M. Blondet, Seismic strength of adobe masonry, *Materials and structures*, Bordas-Gauthier- Villars, 1986.
- [24] R. Torres y J. Alva, Propiedades físico-mecánicas de adobes no estabilizados utilizados en el Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, Departamento de Estructuras y Construcción, 1983.
- [25] J. Vargas, J. Bariola y M. Blondet, Informe final del proyecto resistencia sísmica de la mampostería de adobe, Convenio AID-PUCP. Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Ingeniería, Sección Ingeniería Civil, 1983.
- [26] R. Vargas Ugarte, *Los jesuitas del Perú y el arte*, Lima: Imprenta Gil, 1963.
- [27] C. Jurado, «Las Reducciones Toledanas a pueblos de Indios: Aproximación a un conflicto. El Repartimiento de Macha (Charcas), siglo XVI,» *Cahiers des*

Ameriques Latines, nº 47, 2004.

