

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD ESTRUCTURAL
DE LOS LADRILLOS ARTESANALES DE ARCILLA COCIDA DE
HUANUCO

Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil

AUTOR

Wilson Néstor Arquíñigo Trujillo

ASESOR

Daniel Quiun Wong

JURADO

Marcial Blondet Saavedra

Ángel San Bartolomé Ramos

LIMA - PERÚ

2011

AGRADECIMIENTO

A la Escuela de Graduados de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en especial a los señores profesores del Magíster en Ingeniería Civil, por haberme transmitido valiosos conocimientos y sobre todo una manera diferente para comprender el comportamiento de los materiales y la ingeniería estructural.

Al Mg. Daniel Quiun Wong, mi asesor, por su valioso apoyo en la conducción, revisión, e inagotable insistencia para la culminación de este trabajo.

A mi amigo, Moisés Torres Ramírez, por haber señalado el camino para continuar estudios de especialización en la PUCP.

A mi madre Martha, que con sus constantes oraciones, ha hecho que sienta la bendición de Dios en mi vida.

A mis amigos: José Flores, Guadalupe Ramírez, Laura Navarro, Aldo Bardales, Aníbal Villacorta, por regalarme su valioso tiempo en diferentes momentos durante el desarrollo de este trabajo.



DEDICATORIA

A: Martha y Julio, mis padres
Shena, mi esposa
Bianca, Imanol y Diandra, mis hijos
Jaime, Jony y Silvia, mis hermanos

RESUMEN

Incentivado por los cursos de la Maestría en Ingeniería Civil (1994 y 1995), decidí estudiar las construcciones de albañilería en la ciudad de Huánuco. Durante este proceso me propuse mejorar la calidad estructural de ladrillos de arcilla manteniendo su condición de producción artesanal, ya que la industrialización implica grandes inversiones y eleva su precio de venta.

Se observaba y aun hoy es así, que los principales defectos de la producción artesanal de ladrillos de arcilla son: su falta de cocción (en presencia de humedad se ablandan y descomponen) y la existencia de grietas por contracción de secado. Para mejorarlos se requiere conocer las principales variables que intervienen en la obtención de un buen ladrillo y luego plantear algunas modificaciones. Así la variable dependiente es la calidad del ladrillo y las independientes: composición de la materia prima, forma, secado y horno. Elegimos variar la forma (agregando 8 huecos de 2.10 cm. de diámetro para el tipo KK de 7 x13 x 23 cm) y la composición del crudo (10% en volumen, de aserrín), con la finalidad de mejorar la circulación de aire caliente en la parte central de ladrillo y controlar las contracciones de secado, lo que redundaría en mejorar la cocción y como consecuencia su resistencia y durabilidad.

La investigación contempla tres grupos:

- ✓ Experimental 1 (Lote 1) y Experimental 2 (Lote 2), mejorados y quemados en el tercio intermedio y superior del horno, respectivamente.
- ✓ De control (Lote 3), producción tradicional, quemados en el tercio intermedio del horno.

La prueba de hipótesis se efectúa comparando los resultados de ensayos en la unidad (NTP 399.613:2005), en prismas (NTP 399.605:23003) y en muretes (NTP 399.621:2004) de los grupos experimentales 1 y 2 con el de control.

La conclusión principal es que las modificaciones, han permitido que el ladrillo artesanal cumpla con la norma E.070, para el tipo KK artesanal, clasificando como tipo II, lo que no era posible para la producción tradicional.

Se recomienda continuar este trabajo, para determinar la correlación de resistencias con la ubicación del ladrillo en el horno, incluyendo a todas las plantas ladrilleras, proponiendo mejoras en el horno y en el moldeo por compresión con equipos manuales y material húmedo.

INDICE

	Pág.
RESÚMEN.....	4
CAP I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Planteamiento del Problema.....	7
1.2. Formulación del Problema.....	8
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo General.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	12
1.4. Hipótesis de Trabajo.....	12
1.5. Justificación e Importancia.....	12
1.5.1. Justificación.....	12
1.5.2. Importancia.....	12
1.6. Limitaciones.....	13
1.7. Organización del Trabajo.....	13
CAP II.PRODUCCION ARTESANAL DE UNIDADES Y SUS MEJORAS.....	15
2.1. Características de la zona de estudio.....	15
2.2. Antecedentes del Estudio.....	21
2.3. Planteamientos Teóricos.....	27
2.3.1. Breve Historia.....	27
2.3.2. Principios Básicos de la Producción de ladrillos de arcilla Cocida.....	31
2.3.3. Etapas de producción.....	35
2.3.3.1 Preparación de la arcilla ó amasado.....	35
2.3.3.2 Moldeo.....	38
2.3.3.3 Secado.....	39
2.3.3.4 Cocción.....	43
2.3.3.5 Comportamiento de la arcilla durante el secado y cocción.....	48
2.3.4. Tipos de unidades de albañilería.....	49
2.4. Unidades mejoradas con inclusión de aserrín y huecos.....	43
CAP. III. METODOLOGIA Y PREPARACIÓN DE LADRILLOS MEJORADOS.....	52
3.1. Nivel de la Investigación y Tipos de Análisis.....	52
3.1.1. Nivel de Investigación.....	52
3.1.2. Tipo de Investigación.....	52
3.2. Métodos de Investigación.....	52
3.3. Variables de Análisis.....	52
3.4. Diseño de la Investigación.....	53
3.5. Técnicas e Instrumentos.....	53
3.6. Materiales e Instrumentos.....	54
3.7. Procedimientos.....	
3.7.1 Proceso Obtención de ladrillos artesanales en la ciudad de Huánuco.....	54
3.7.1.1 Generalidades.....	54
3.7.1.2 Obtención del crudo o materia prima.....	55
3.7.1.3 Moldeo.....	56
3.7.1.4 Secado.....	56
3.7.1.5 Cocción.....	57
3.7.2 Proceso de elaboración de las unidades mejoradas con inclusión de aserrín en la masa y huecos en la forma.....	62

3.7.2.1 Alcances.....	62
3.7.2.2 En la materia prima.....	63
3.7.2.3 En el moldeo.....	63
3.7.2.4 En la cocción.....	65
3.7.2.5 Producción de ladrillos con fines de ensayo.....	65
CAP. IV. RESULTADOS.....	69
4.1. Organización de los Ensayos.....	69
4.2. Resultados Obtenidos.....	69
4.2.1 Pruebas sobre la materia prima	69
4.2.2 Resistencia a compresión de la unidad de albañilería.....	72
4.2.3 Resistencia a compresión axial en prismas.....	76
4.2.4 Modulo de Elasticidad Em.....	80
4.2.5 Resistencia a compresión diagonal en muretes.....	81
4.2.6 Modulo de Corte Gm.....	84
4.2.7 Resumen de resultados.....	85
CAP. V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	86
5.1 Prueba de Hipótesis	86
5.2 Comparación de resultados con trabajos similares.....	87
CAP. VI. CONCLUSIONES.....	89
CAP VII. RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXO.....	92
Resultados de ensayos del Laboratorio de Estructuras de la PUCP	



CAP. I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Desde la década de 1970, las construcciones de albañilería estructural se han constituido en una alternativa económica y sencilla para las edificaciones, que es preferida en muchas áreas urbanas del Perú.

La ciudad de Huánuco, no ha sido ajena a la gran aceptación que ha alcanzado las construcciones en albañilería. Por el año 1993, un estudio sobre Vulnerabilidad sísmica, desarrollado por Córdova Facundo, nos muestra que en el área urbana antigua, el 32.6 % de las edificaciones de material rústico fueron reemplazadas por albañilería confinada y en las áreas de expansión urbana, llegaba al 95 %. Aun cuando no contamos con estudios actualizados, podemos afirmar sin temor a equivocarnos, que estos porcentajes se han mantenido ó incrementado.

En las construcciones de albañilería, las técnicas y sobre todo la calidad de ladrillos de arcilla, varían de un lugar a otro, por la calidad de la materia prima, por los procesos de selección, moldeo, secado y cocción; y, principalmente por el tipo de proceso de producción, ya sea artesanal (moldeo y cocción artesanal), semi-industrial (moldeo mecanizado y cocción artesanal) o industrial (moldeo y cocción mecanizada).

Actualmente la ciudad de Huánuco, cuenta con una sola planta de producción semi-industrial, ninguna del tipo industrial y muchas unidades de producción artesanal. Precisamente, los ladrillos producidos por éstas últimas tienen más aceptación, principalmente por su menor costo y aparente similitud con las unidades industrializadas que llegan desde Lima.

Se observa que las principales desventajas de la producción artesanal son la cocción irregular (se deshacen en un tiempo relativamente corto) y la presencia de grietas por contracción de secado. Ambos defectos influyen notoriamente en su resistencia frente a las cargas externas y durabilidad frente a las inclemencias del clima.

Un estudio sobre "Unidades de albañilería de arcilla cocida en Huánuco", desarrollada para la UNHEVAL en el año 2000, analizó 08 ladrilleras (tomando muestras de 13 hornos), llegando a obtener una resistencia a compresión de la unidades de 25 Kg/cm², no clasifican ni como tipo I , es decir no cumplen con las exigencias de la Norma E070.

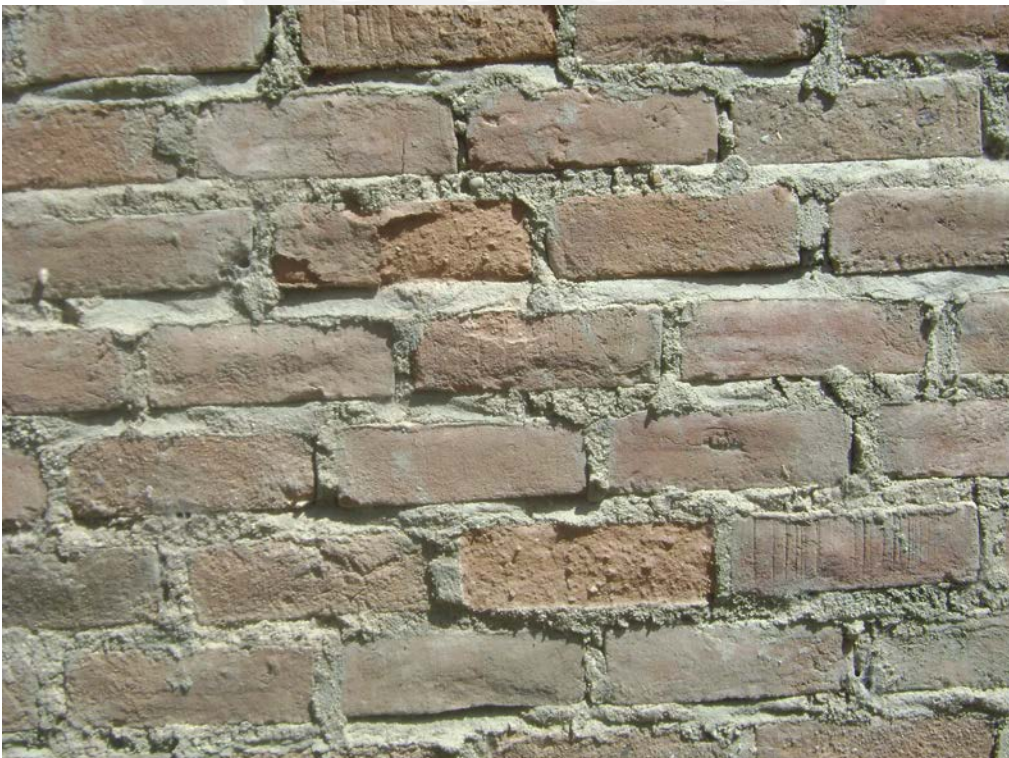
A fin de resolver o menguar el problema descrito, este trabajo de investigación experimental, propone modificar la forma y composición del crudo, manteniendo el sistema de producción de artesanal, esperando mejorar su resistencia frente a las cargas y durabilidad frente a las inclemencias del clima.

1.2. Formulación del Problema

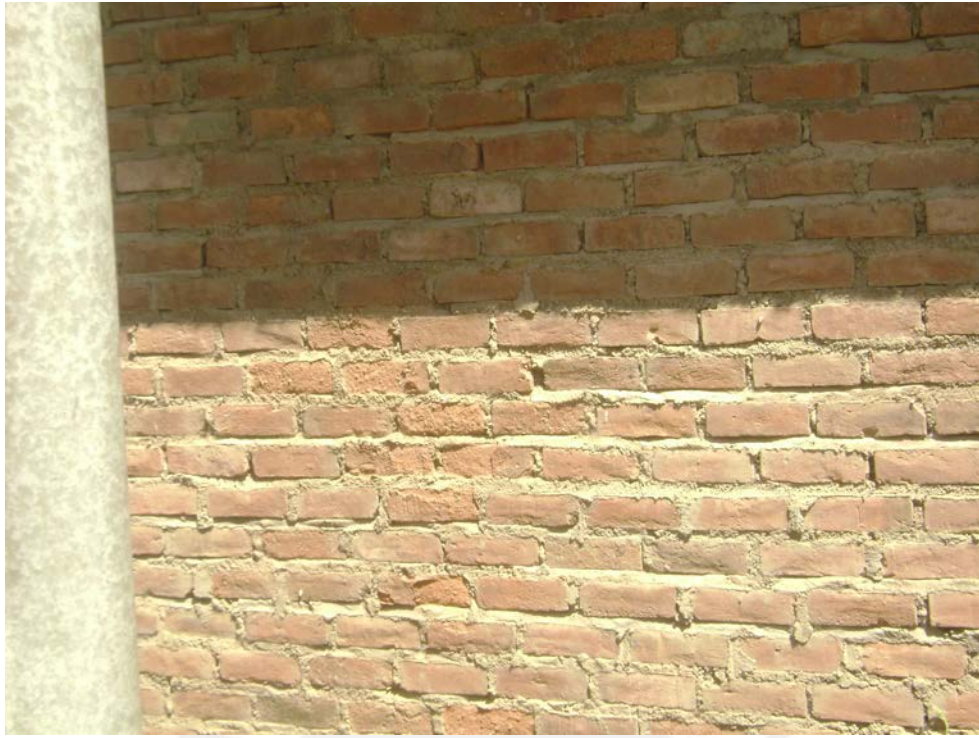
Una de las principales desventajas de los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Huánuco, es su grado de cocción. Esta situación se devela bajo las inclemencias del clima, observándose que en presencia de humedad (a consecuencia de lluvias), los ladrillos se ablandan y se van desprendiendo progresivamente del muro (fotos 1.1 a 1.3).



Fotografía N° 1.1: Muro de ladrillo artesanal en descomposición por falta de cocción



Fotografía N° 1.2: Observese unidades con aparente buena coloración de quemado, pero con unidades en descomposición, con desprendimientos en su cara exterior.



Fotografía N° 1.3: En este caso la coloración de las unidades parece indicar falta de cocción. Obsérvese unidades que han iniciado proceso de descomposición por falta de quemado.

El otro problema, son las grietas, producidas por la contracción de secado. Las causas principales son la composición del crudo, la calidad de la arcilla y el exceso de agua del barro. Es necesario que así sea, para facilitar el moldeo manual, pero debe perderse durante el secado (fotos 1.4 a 1.8).



Fotografía N° 1.4: Grieta por contracción de secado en ladrillo artesanal



Fotografía N° 1.5: Obsérvese ladrillo agrietado en muro por defecto de contracción de secado, además de un deficiente control del espesor de las juntas.



Fotografía N° 1.6: Las grietas por contracción de secado no tienen una característica definida, siguen por donde el agua de amasado se elimina con más rapidez, lo que indica que en la fase de "madurado" no se logra una masa uniforme, algunas partes quedaran con mayor contenido de agua.



Fotografía N° 1.7: Unión dentada en muro confinado, con unidades agrietadas por contracción de secado.



Fotografía N° 1.8: Varias unidades agrietadas por contracción de secado en un muro confinado y portante

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Obtener ladrillos artesanales de arcilla cocida que cumplan con las exigencias de la Norma E.070 (2006), en cuanto a resistencia a compresión de unidades, prismas y muretes.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar los componentes que conforman la masa (crudo o materia prima) utilizada en la producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida, en la ciudad de Huánuco.
- b) Identificar el procedimiento de producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida, en la ciudad de Huánuco.
- c) Revisar las fases de producción de un buen ladrillo de arcilla cocida.
- d) Proponer modificaciones en la producción artesanal, que conduzcan a mejorar su calidad.
- e) Ejecutar pruebas de resistencia de la unidad, pilas y muretes, para demostrar las mejoras, frente a la producción tradicional.

1.4. Hipótesis de Trabajo

Se debe mejorar la cocción del ladrillo actual para obtener ladrillos de mayor resistencia y mayor durabilidad.

Para ello, se incluirán huecos en la cara de asiento lo que facilita la circulación de aire caliente en su interior. Además si se agrega un 10% de aserrín a su composición, se puede disminuir la gradiente de contracción de secado.

1.5. Justificación e Importancia

1.5.1. Justificación

La investigación experimental, se justifica porque se basa en la producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida. Sin variar sustantivamente sus procedimientos, se propone mejorarlos para dotarles de mayor competencia estructural frente a las cargas externas y mayor durabilidad frente al medio ambiente.

Se responde también a una necesidad de obtener ladrillos artesanales de mejor calidad, sin necesidad de llegar a industrializarlo, es decir manteniendo sus bajos costos de producción y de venta.

1.5.2. Importancia

Constituye un aporte para la comunidad en general, puesto que las mejoras que se obtengan en la producción de ladrillos artesanales, conducirán a construir edificaciones más competentes y menos vulnerables.

1.6. Limitaciones

La investigación experimental se limita a probar que las modificaciones en la forma y composición del crudo, de la producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida en la ciudad de Huánuco; proporcionan mejor resistencia frente a las cargas externas y mayor durabilidad frente a las inclemencias del clima, en relación con la producción artesanal tradicional.

La propuesta tiene especial cuidado de no alterar sustantivamente la producción artesanal, manteniendo los bajos costos de producción. Es decir, sin incurrir en grandes inversiones tales como plantas de producción, se mantiene su condición de producción artesanal.

En este contexto, la comparación de los resultados obtenidos para los tres lotes de ladrillos producidos, se efectúan sobre la dimensión nominal de los ladrillos. Por esto, no se ejecutaron ensayos de variación dimensional, alabeo, densidad, succión, absorción, absorción máxima, etc. Para la producción de ladrillos en la ciudad de Huánuco, ya fue analizada por Hugo Leonardi Félix Santiago (UNHEVAL, 2000).

Siendo así la investigación se limitará a ejecutar las pruebas de resistencia a compresión en unidades, resistencia a compresión de pilas y finalmente resistencia a compresión diagonal de muretes.

1.7. Organización del Trabajo

Para alcanzar los objetivos se ha dividido este trabajo en los siguientes capítulos:

El capítulo II corresponde a la Producción Artesanal de Unidades y sus Mejoras, que va desde la caracterización de la zona donde se realizó el estudio experimental, pasando por describir los principios básicos de la producción de ladrillos de arcilla cocida, desde la preparación de la materia prima, moldeo, secado y cocción, con incidencia en la producción artesanal, aun cuando contiene ilustración gráfica de procesos industriales.

En el capítulo III, se describe los aspectos metodológicos, definiendo el nivel y tipo de investigación, las variables de análisis, el diseño de la investigación, las técnicas, materiales, instrumentos y procedimientos empleados. Se hace énfasis en el procedimiento de producción artesanal que se aplica en la ciudad de Huánuco y se precisa el procedimiento empleado en la producción de los ladrillos mejorados, modificando la forma y composición del crudo.

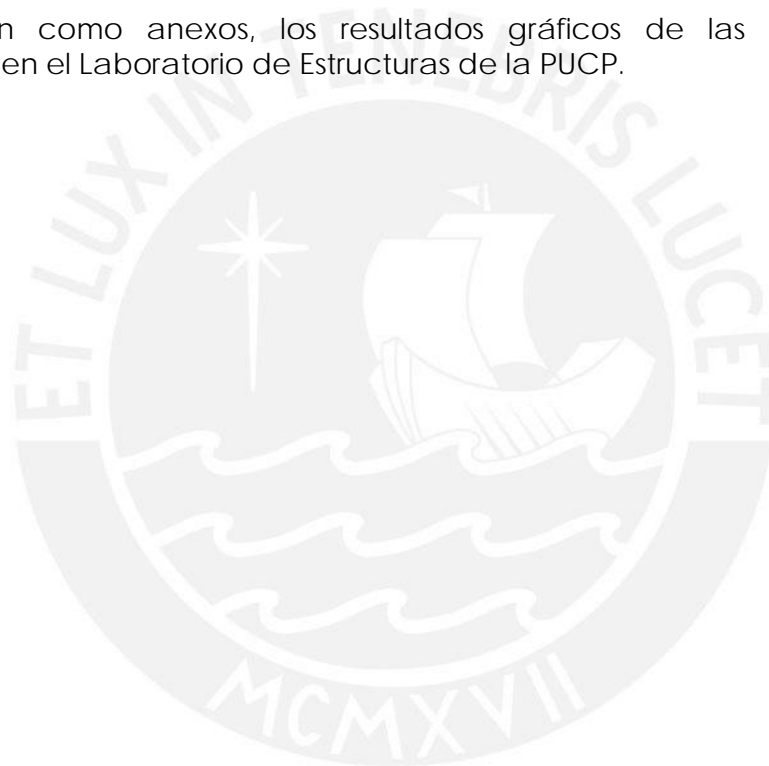
En el capítulo IV, se exponen los resultados. Se explica la organización y los aspectos tomados en cuenta para los ensayos, así como para la obtención de las resistencias a la compresión de las unidades y prismas y resistencia a compresión diagonal de muretes. Estos ensayos se aplicaron a tres lotes de ladrillos, denominados L1: ladrillos mejorados quemados en el tercio intermedio del horno; L2: ladrillos mejorados quemados en el

tercio superior del horno; y L3: ladrillos artesanales convencionales quemados en el tercio intermedio del horno. Todo esto en aplicación de las normas Técnicas Peruanas NTP 399.613:2005, 399.605:2005, 399.621:2004

En el capítulo V, se hace la prueba de la hipótesis a partir de los resultados de los ensayos encontrando haberlos satisfecho con amplio margen. Es decir, la inclusión de huecos en la forma y aserrín en la composición del crudo, permitió mejorar la resistencia de los ladrillos sin variar su condición de producción artesanal.

En los capítulos VI y VII se indican las conclusiones y recomendaciones de la investigación experimental, para tomarlas en cuenta en futuras líneas de investigación.

Se adjuntan como anexos, los resultados gráficos de las pruebas efectuadas en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP.



CAP. II PRODUCCION ARTESANAL DE UNIDADES Y SUS MEJORAS

2.1 Características de la Zona de Estudio

Teniendo en consideración que la investigación experimental se desarrolla en la ciudad de Huánuco, en los siguientes acápite indicamos muy brevemente, algunas de sus características más importantes.

a) Ubicación y Extensión

La provincia de Huánuco se encuentra ubicada en el flanco oriental, de la parte central de la cordillera de los Andes (ver mapas en fig. 2.1 a 2.3). Esta dividida por el río Huallaga, que recorriendo de sur a norte, separa físicamente al distrito de Amarilis, de los distritos de Huánuco y Pillcomarca.

Las coordenadas geográficas que ubican a la ciudad son:

- En el distrito de Amarilis:
09°57´45" de latitud sur
76°19´50" de longitud oeste
- En el distrito de Huánuco:
09°55´40" de latitud sur
76°14´00" de longitud oeste

La altitud promedio es de 1912 m.s.n.m., rodeada por los cerros San Cristóbal, Jactay, Pomares y Puelles.

b) Referencias Históricas

Su historia comienza con el poblamiento de América, con el hombre de Lauricocha y el hombre de Kotosh, en el asentamiento del reino Yarowilca, que actualmente corresponden a las provincias de Huamalíes, Dos de Mayo, Lauricocha y Yarowilca (fotos 2.1 y 2,2).



Fotografía N° 2.1
Ruinas de Garu, provincia
de Yarowilca,
construcción de
albañilería de piedra
mediana
(<http://sites.google.com>)



Fotografía N° 2.2: Albañilería de Piedra en el centro arqueológico de Kotosh, a 3 Km. de la ciudad de Huánuco. (<http://wiki.sumaqperu.com>)

La ciudad fue fundada en 1539, en la pampa de Huanuco el Viejo, por el capitán Gómez de Alvarado y Contreras, hubo de ser trasladada al poco tiempo de su fundación al Valle del Pillco, tierra de los Chupaichos que hoy le sirve de sede (foto 2.3).



Fotografía N° 2.3: Pampa de Huánuco viejo, mostrando estructuras en albañilería de piedra (<http://reportealdia.blogspot.com>)

Correspondió a los españoles Pedro Barroso y Pedro Puelles trasladar la ciudad en 1542 a su actual sede. Cuenta con una extensión de 9.66 Km² y una población de 149,210 habitantes, de acuerdo con el censo del año 2007.

c) Expansión Urbana

La provincia de Huánuco, no ha sido ajena al crecimiento demográfico que se presenta en otras ciudades del país. La parte de la ciudad ubicada en los distritos de Amarillis y Pillcomarca, es la que ha experimentado mayor crecimiento, debido a que las posibilidades de expansión están prácticamente restringidas en el sentido longitudinal de sur a norte. En cambio, en el sentido transversal, están limitados por la presencia de los cerros San Cristóbal, Jactay y Rondos.

De acuerdo a la información de los censos efectuados y publicados por el INEI, para los años 1993 y 2007, la población de la provincia de de Huánuco, ha crecido de la siguiente manera:

1993	118,814 Habitantes
2007	149,210 Habitantes

Esto equivale a tasa de crecimiento de 25.58% en 14 años, lo que a su vez se traduce en la construcción de mayor número de viviendas (foto 2.4).



Fotografía N° 2.4: Vista Panorámica actual de la ciudad de Huánuco (<http://andina.com.pe>)

d) Historia Sísmica

Según los registros históricos, en la ciudad de Huánuco existe relativamente poca actividad sísmica, sin embargo se tiene conocimiento de sismos ocurridos en las partes aledañas, desde la época incaica, a través de informaciones recogidas por cronistas e historiadores.

De la obra de Enrique Silgado Ferro, titulada "Historia de los Sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974)" y del trabajo realizado por el SISRA del Centro Regional de Sismología para América del Sur, se ha tomado la siguiente relación de los sismos más destructores ocurridos en las zonas aledañas y que fueron sentidos por la población en la ciudad de Huánuco. Estos son:

Sismo del 9 de julio de 1586. A las 19:00 horas, terremoto que destruyó Lima, con 14 a 22 víctimas. Tsunami en el Callao y otros lugares. Fue sentido desde Trujillo hasta Caravelí, también fue sentido en Huánuco y Cuzco, y posiblemente en lugares intermedios. Por 60 días se dejaron sentir las réplicas. Intensidades en Mercalli Modificado: Lima IX, Ica VI, y Trujillo III.

Sismo del 04 de marzo de 1904. A las 05:17 horas, fuerte movimiento sísmico en la ciudad de Lima. Intensidad aproximada de VII a VIII en Mercalli Modificado; en Pacasmayo y Chosica VI. Fue sentido en Casma, Trujillo, Huánuco, Pisco y Ayacucho.

Sismo del 16 de noviembre de 1907. A las 05:10 horas. Temblor sentido en la costa, entre Lambayque y Casma, en la región central: Tarma, Cerro de Pasco y Huánuco; y en la Selva entre Masisea y Puerto Bermúdez, con intensidad V en la escala de Mercalli Modificado.

Sismo del 24 de diciembre de 1937. A las 01:23 horas. Terremoto en las vertientes orientales de la cordillera central. Afectó Huancabamba y Oxapampa. En el Valle de Chontabamba fueron 34 las casas destruidas, en Oxapampa 7, en Progreso 23, en San David 10 y en Huancabamba 18. El movimiento sísmico fue sentido fuertemente en San Ramón, La Merced, Pozuzo, Tarma y en la Unión y Llata (dpto. de Huánuco). Intensidades en Mercalli Modificado: Chontabamba IX, Huancabamba y Oxapampa VIII.

Sismo del 21 de agosto de 1945. A las 11:30 horas. Sismo en la sierra central y vertientes orientales de los Andes. Intensidades en Mercalli Modificado, Cerro de Pasco y San Ramon V, en Llata y Huánuco IV. En las ciudades de la costa, entre Lima y Mala se sintió ligeramente, estimándose un área aproximada de percepción de unos 210, 000 km².

Sismo del 1 de noviembre de 1947. A las 9:50 horas. Terremoto en la zona central del Perú. 200 muertos en Satipo, Andamarca, Acobamba, La Merced, Vitoc, Comas y Perené. Daños pronunciados en Satipo, donde se desplomaron paredes gruesas de ladrillo. En la Merced quedaron inhabitables las casas de adobe, el mismo efecto se observó en otros pueblos del departamento de Junín. Jauja y Cerro de Pasco sufrieron numerosos desperfectos en sus casas de adobe. Infinidad de derrumbes entre San Ramón y Satipo. La carretera a Satipo fue destruida en varios tramos. Sentido en casi todo el territorio peruano. Intensidades en la escala de Mercalli Modificado: X en Satipo, VII en Yanahuanca, Vitoc, Villa Rica, Pucará, Jauja, Huánuco, Cerro de Pasco, Carhuamayo y Acobamba.

Sismo del 29 de octubre de 1956. A las 10:42 horas. Sismo ligeramente destructor en Huánuco y Tingo María, VI -VII en la escala de Mercalli modificado. Sentido fuertemente en los pueblos aledaños al río Marañón, en el departamento de Ancash y en el puerto de Chimbote; levemente en Lima.

Sismo del 14 de febrero de 1970. A las 06:18 horas. Sucedió un violento sismo en Panao, provincia de Pachitea, departamento de Huánuco. Murieron más de 10 personas y hubo numerosos heridos por el derrumbe de las casas. Los pueblos más afectados fueron Chaglla, Quero, Ayllamarca, La Linda y otros donde quedaron destruidas todas las viviendas rurales. Intensidades de VII - VIII de Mercalli modificado en Panao, Chaglla y Quero.

Sismo del 31 de mayo de 1970. A las 15:23 horas. Fue uno de los sismos más catastróficos ocurridos en el Perú, murieron 50,000 personas, desaparecieron 20,000 y quedaron heridos 150,000, según informe de CRYRZA.

Dentro de las características del sismo, se puede mencionar que, en la zona de la costa cercana al epicentro, se produjeron fenómenos de licuefacción de suelos, deslizamientos de taludes de la cordillera y el gran aluvión que arrasó con la ciudad de Yungay, al desprenderse la cornisa norte del nevado Huascarán, arrastrando piedras, nieve y lodo.

En el callejón de Huaylas los deslizamientos y escarpas fueron muchos, a la altura de Recuay se represó el río Santa, en la zona de la costa se agrietó el suelo con eyección de agua y lodo hasta una altura de un metro.

El sismo fue sentido desde Tumbes hasta Ica y desde la costa hasta Iquitos, produciéndose intensidades de IX (MM) en Casma y Chimbote; VIII (MM) en el Callejón de Huaylas; VII (MM) en Trujillo, Moche y Paramonga. En Huánuco se sintió entre IV – V (MM). La magnitud alcanzada se considera de 7.7. Su epicentro se localizó en el mar, a 30 Km. de la costa de Chimbote.

Sismo del 10 de junio de 1971. A las 01:47 horas, deterioró varias casas rurales antiguas en Pasco. Sentido fuertemente en Huánuco, Junín, Chíncha e Ica. En Lima se sintió con una intensidad de III – IV (MM), sentido en los departamentos de Ancash, La Libertad, Amazonas, San Martín y en Yurimaguas, Orellana, Pucallpa, Contamana e Iquitos. Intensidad V – VI (MM) en Cerro de Pasco y V (MM) en Huánuco.

Sismo del 22 de marzo de 1972. A las 02:34 horas. Las ciudades de Juanjuí y Saposoa, edificadas a orillas del río Huallaga, fueron remecidas violentamente por un sismo que dejó 22 heridos y alrededor de 500 viviendas inhabitables entre derrumbadas y semidestruidas. Se produjeron asentamientos en la carretera marginal. El sismo precipitó el derrumbe de taludes de los cerros cercanos a Saposoa. El movimiento se sintió con menor intensidad en Tarapoto, Lamas, Moyobamba, Rioja y otros caseríos del departamento de San Martín, así mismo en varias provincias de los departamentos de La Libertad, Lambayeque y Huánuco.

Sismo del 17 de noviembre de 1982. Fuerte sismo en la zona central del país, se sintió con intensidad IV (MM) en Huánuco.

e) Mapas de ubicación y localización.



Fig. 2.1.- Localización del departamento de Huánuco en el mapa del Perú (<http://peruwebservice.com>)



Fig. 2.2 Mapa del departamento de Huánuco con delimitación provincial (<http://bookingbox.org>)

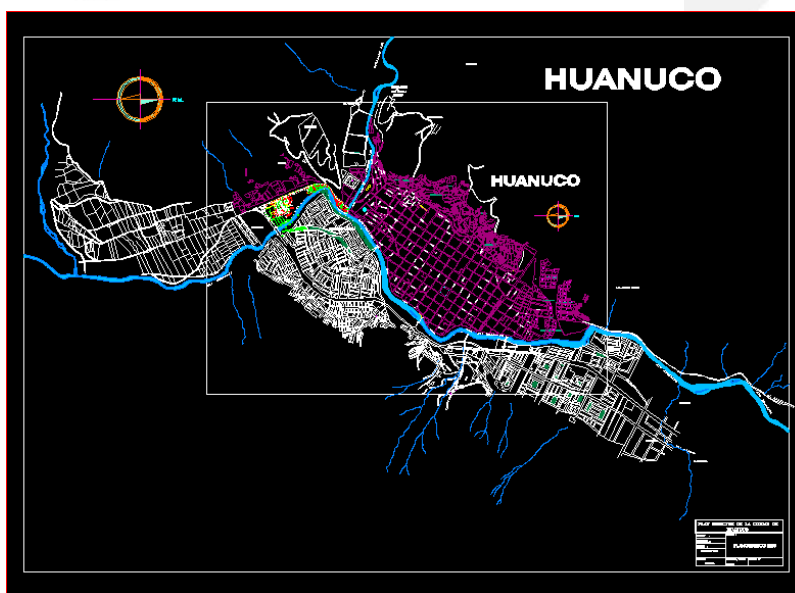


Fig. 2.3 Plano de la ciudad de Huánuco (<http://bibliocad.com>)

2.2. Antecedentes del Estudio

Como antecedentes de estudios en construcciones de albañilería, se presenta un resumen de los trabajos y bibliografía afines a nuestra investigación. Es conveniente señalar que un gran porcentaje de los ensayos realizados en la PUCP, como desarrollo de temas de tesis, se encuentran descritos en la referencia (2).

“Estudio Integral de la construcción con albañilería: en busca de una solución económica para la vivienda multifamiliar” por Gallegos, Ríos, Casabonne, Ucelli, Icochea, Arango, Ingenieros Civiles Consultores (1977).

Como primera etapa del proyecto, efectuaron un diagnóstico de la realidad nacional de la industria del ladrillo. Para ello seleccionaron quince ciudades que pertenecen a las tres regiones del país (costa, sierra y selva), siendo seleccionadas como las más representativas en función a su población, número de viviendas, demanda y consumo de materiales de construcción.

Llegaron a determinar importantes diferencias respecto a la producción del ladrillo de arcilla en cuanto a las características de la materia prima, tecnología de fabricación, grado de mecanización, condiciones climatológicas, etc. entre una región y otra e incluso entre ciudades de una misma región.

Determinaron también que es muy variado el poder adquisitivo de los consumidores y diferentes los requerimientos de las características del ladrillo según sea su uso y destino.

Con todo ello, propusieron una Norma Técnica Nacional que contemple requisitos categorizados por las cualidades definitorias del ladrillo, de manera que puedan disponerse en cada región del Perú, de ladrillos convenientemente normalizados y susceptibles de ser fabricados en cada zona, con sus propios recursos.

“Estudio de la variabilidad de la calidad de los ladrillos producidos en la ciudad de Lima” por Elena Sánchez Borea (1982).

El objetivo del tema fue estudiar los diversos factores que influyen en la calidad del ladrillo comúnmente utilizado en la ciudad de Lima, para la construcción de los muros portantes. Los factores que se estudiaron fueron:

- Efectos del moldeado (artesanal o industrial)
- Procedencia y composición de la materia prima
- Efectos del horneado
- Variación de la calidad de producción en una misma fábrica
- Otros efectos significativos en las propiedades resistentes y cualitativas del ladrillo (flexión, compresión, adherencia por corte, succión, absorción y peso específico)
- Clasificar a las ladrilleras en grupos con iguales características: origen y composición del crudo, tipo de moldeo, tipo de horno y grado de cocción, de tal manera que se pueda conocer sus características resistentes de acuerdo a ciertos niveles de confianza en base a características cualitativas.

Las principales conclusiones y recomendaciones del estudio fueron:

- a) La producción del ladrillo K-K- en el área de Lima es del orden de 14,000 millares mensuales de K-K artesanal y de 5,000 millares mensuales de K-K industrial, 3,000 millares mensuales de ladrillos calcáreos. De aquí se deduce la importancia de dirigir las normas hacia este tipo de ladrillo y de estudiar la posibilidad de industrializar la producción del ladrillo K-K artesanal, de modo de poder exigir un mejor control de calidad.
- b) Cada ladrillera debería controlar su producción mediante gráficos de control de resistencia a la compresión y proporcionar dicha información al consumidor. En nuestro medio no es posible por falta de control oficial.
- c) La resistencia a la compresión con el modulo de ruptura no tiene correlación alguna, como tampoco la tienen la resistencia a la compresión con la resistencia al corte directo, por no existir control oficial en la producción.
- d) Se observa una correlación cualitativa entre la resistencia a la compresión y la densidad, no pudiéndose asegurar correlación lineal debido a la dispersión de los puntos alrededor de la recta de regresión. Controlando las variables composición del crudo y grado de cocción podrían ajustarse estos valores, pero en la práctica es difícil de lograr, debido al incumplimiento de las normas de fabricación.
- e) Las tolerancias dimensionales de la Norma (dimensiones y alabeo) y la densidad son satisfechas por la totalidad de las ladrilleras muestreadas.
- f) Los ladrillos con conchuelas y/o caliche deben ser descartados, así como también los ladrillos que conforman la puerta y techo del horno.
- g) La resistencia a compresión de ladrillo varía fuertemente por el procedimiento de ensayo empleado. Debe usarse el mismo método para todos los ensayos
- h) Las muestras para los ensayos de resistencia a compresión deben estar secas antes de ser ensayadas.
- i) La resistencia a la compresión no es un índice de calidad uniforme por lo tanto el ensayo de compresión solo puede emplearse estrictamente para comparar la calidad de piezas del mismo tipo.
- j) Para el ladrillo K-K moldeado artesanalmente, toda la producción puede considerarse como una sola calidad, mientras que para los ladrillos de producción industrializados deben considerarse calidades distintas para cada fábrica o grupos de fábrica.
- k) En el área de Lima, de la producción de una misma fábrica puede esperarse gran variedad en la calidad del ladrillo, dependiendo ésta de donde se obtuvo la materia prima, de que si la quema estuvo bien hecha, del tipo de moldeo y del control de calidad. De aquí que en Lima no sea posible clasificar a la ladrillera sino al lote de ladrillos.

“Ensayos de Albañilería en Sillar”, por Juan Carlos Lara Galindo (1988)

Las conclusiones y recomendaciones del estudio fueron:

- a) Con la industrialización del sillar, se lograría una buena unidad y disminuir su costo.
- b) No existe reglamentación nacional sobre construcciones en piedra y las investigaciones realizadas en el sillar son solo a nivel de material de construcción (propiedades físicas y mecánicas).
- c) A diferencia de un estudio desarrollado por el INIVI, en este proyecto sólo se ha encontrado características ligeramente superiores al ladrillo de arcilla tipo II en ensayos a pequeña escala.
- d) Los resultados de los ensayos de corte directo y de compresión diagonal, muestran una menor resistencia para los especímenes asentados con cal.
- e) El tratamiento de la unidad, controla y reduce la alta succión de los bloques de sillar, pero los ensayos de corte muestran siempre fallas por corte en las juntas.
- f) El aumento de la calidad del mortero de 1:8 a 1:5 aumentó entre 40% a 50% la resistencia en especímenes pequeños, mientras que en muros a escala natural este incremento fue solo del 15%.
- g) La degradación de la rigidez lateral muestran un patrón similar a los registrados por muros confinados de ladrillos de arcilla.
- h) Los muros de sillar fallaron en forma escalonada a través de sus juntas, a pesar que su capacidad teórica de flexión fue menor que la carga experimental de rotura. En los ciclos posteriores a la rotura, la carga máxima se mantuvo constante con una magnitud cercana a la capacidad de flexión.

“Bloquetas artesanales de concreto, convenio Universidad Pedro Ruiz Gallo – PUCP” por A. Moscol (1987).

Su objetivo fue obtener unidades de bajo costo y plantear una alternativa para evitar el uso indiscriminado del suelo agrícola en la fabricación de unidades de arcilla.

Construyeron bloquetas modulares de concreto en forma artesanal de 12x14x29 cm., con 2 alvéolos circulares ($d=6$ cm., 20% de vacíos).

Con la proporción 1:5:2 (cemento: arena: confitillo), obtuvieron unidades de $f'_b=54$ kg/cm² (a los 28 días de edad) y con ellas se construyeron pilas y muretes con mortero 1:5. En un caso se introdujo refuerzo vertical de caña brava ($d=1$ ”), rellenando los alvéolos con el mortero de las juntas; y en el otro caso con alvéolos vacíos. Las resistencias obtenidas para los dos casos fueron, $f'_m=35$ Kg/cm² ($E=35000$ Kg/cm²) y $v'_m=5.3$ kg/cm²; sin embargo los especímenes cubiertos con caña registraron mayor ductilidad.

Las resistencias de las unidades, pilas y muretes fueron similares a los de ladrillos de arcilla. Concluye que las bloquetas de concreto pueden emplearse en la construcción de viviendas de un piso; y, enriqueciendo la mezcla podrían construirse hasta de dos pisos.

“Manual de Técnica Ladrillera”, por Karl Splinger (1954)

El texto contiene información acerca de la materia prima, el yacimiento de arcilla, la preparación de la arcilla, el moldeo en la fabricación de ladrillos y tejas, el secado, la cocción, instalación de ensayos y normas técnicas; y, finalmente una descripción completa acerca de las fábricas de ladrillo.

“Defectos en la Fabricación de Ladrillos y tejas”, por Karl Splinger (1954)

Este libro complementa al anterior, analizando los defectos que comúnmente se presentan en la fabricación de ladrillos y tejas, se incluye las causas y medidas para remediarlos. Trata principalmente de: Grietas y deterioros en la fabricación, durante el secado, durante la cocción y en ladrillos y tejas terminados; deformaciones durante el secado y la cocción, defectos de colorido y otros que no se pueden determinar inmediatamente en los productos terminados.

“Técnica y Práctica de la Industria Ladrillera II” por Eloy Robusté (1969)

El contenido del libro abarca desde el secado natural, los secaderos de cámaras, secadero de túnel, hornos intermitentes, hornos continuos, hornos túnel y finalmente trata de la instalación de fábricas de ladrillo.

Respecto al proceso de secado, revisamos la experiencia de un proyecto de la cooperación técnica peruano – alemana, entre la Universidad Nacional de Ingeniería y la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ) acerca de la teoría y práctica del secado solar. En esta investigación, la aplicación de los secadores solares fue restringida a productos alimenticios como maíz, orégano y ají.

“Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región Grau – Piura”

Tesis para optar el grado de Magíster – PUCP – Escuela de Graduados – Mención en Ingeniería Civil.

FONTANA PALACIOS, Alejandro (1999)

Se estudiaron a 36 productores de ladrillos de arcilla cocida en la ciudad de Piura, seleccionados en función de su presencia en el mercado.

De los resultados podemos destacar que la materia prima consiste de arcillas de origen continental de aguas someras, tipo limoníticas, de colores: gris verdoso, gris amarillento y gris claro. Agruparon cuatro zonas de producción que mantienen similares procesos de fabricación: 1. Noreste y Noroeste; 2. Simbilá – Catacaos, Unión y Porvernir; 3. Sur, La Encantada y Pueblo Nuevo; 4. Marcavelica.

La producción es artesanal, en algunas zonas con un leve tratamiento de humedecimiento de la arcilla durante 24 horas. Moldeo Manual sin uniformidad de dimensiones. Secado de duración arbitraria, sin cobertizos. Cocción sin ningún tipo de control en los parámetros de temperatura, cantidad de combustible, etc. Las rumas para la cocción varían entre 5000 a 25000 ladrillos.

Los resultados de los ensayos ejecutados sobre las unidades se indican en la tabla 1

Zona	Peso Específico gr/cm ³	Absorción (%)	Absorción Máxima (%)	Succión gr/200cm ² /min	f _b Kg/cm ²	Tipo de Ladrillo
Nor – Oeste	1,702	11.96	20.02	59.67	90.22	Corriente
Nor – Este	650	13.12	14.85	48.70	87.34	corriente
Semi-industrial	1,846	15.16	16.90	42.73	143.96	King Kong
Marcavelica	1,536	18.45	24.27	83.79	58.73	King Kong
Simbilá-Catacaos	1,636	18.81	20.54	107.00	71.44	King Kong
Bernal	560	15.75	18.50	61.73	35.31	Corriente
La Unión	1,625	15.23	16.61	45.30	81.78	King Kong
Sur	1,415	16.15	18.08	56.98	68.38	King Kong
La Encantada	1,465	25.7	27.75	94.20	69.74	Semi KK
Pueblo Nuevo	1,460	26.85	30.75	58.70	36.17	Semi KK

Para el estudio de las propiedades de la albañilería simple, escogieron 04 productores de producción artesanal. Los resultados se indican en la Tabla 2.

Procedencia	Ensayos de compresión en Prismas				Ensayos de Compresión Diagonal en Muretes		
	f _m Kg/cm ²	f _b Kg/cm ²	E Kg/cm ²	E/f _m	v _m Kg/cm ²	G Kg/cm ²	G/E
Bernal	40.12	48.27	11235	280	8.33	5811	0.5
Nor-oeste	33.69	48.67	5389	212	5.74	2047	0.5
Sur Chulucanas	29.03	37.28	2571	89	4.51	1371	0.5
Nor-este	25.44	54.36	4295	128	5.30	5611	1

Conclusiones

Con referencia a las unidades se ha encontrado una gran variabilidad dimensional. La succión natural es muy elevada y las variaciones de la resistencia a la compresión están sujetas a diferencias en los procesos de fabricación de cada zona. Según la Norma E.070, las unidades se clasifican como ladrillos tipo I.

En cuanto a las propiedades de la albañilería simple, no se han podido fijar con certeza valores característicos de la resistencia a compresión f_m. La relación entre el módulo de elasticidad E y la resistencia f_m, y también la relación entre los módulos de corte G y de elasticidad E, difieren notoriamente de los valores indicados en la Norma E.070.

El Esfuerzo cortante máximo obtenido de los ensayos sobre los muretes es aceptable.

Concluye el trabajo recomendado uniformizar la producción de los ladrillos de arcilla cocida en la ciudad de Piura, mejorando los procesos de fabricación y estableciendo sistemas de control en su producción. Así mismo sugiere extender este tipo de estudios a otras ciudades del país para conocer la calidad de estos materiales de construcción, y proponer en consecuencia las mejoras que sean necesarias.

“Unidades de Albañilería de arcilla cocida en Huánuco” por Hugo Félix Santiago (2000)

El objetivo de esta investigación, desarrollada como tesis para la UNHEVAL en el año 2000, fue evaluar las propiedades físicas mecánicas de las unidades de arcilla cocida producidas en la ciudad de Huánuco. Los objetivos específicos fueron:

- ✓ Conocer las características y propiedades de los ladrillos de arcilla cocida producidas en la ciudad de Huánuco.
- ✓ Clasificarlas según los rangos establecidos por la norma E.070
- ✓ Recomendar su uso en función al tipo de construcción.

Los resultados obtenidos, para las 08 ladrilleras estudiadas se resumen en el siguiente cuadro:

Ladrillera	Variabilidad dimensional en %			Alabeo (mm)	Resistencia a compresión de unidades Kg/cm ²	Densidad gr/cm ³	Succión (gr)	Absorción (%)	Absorción máxima (%)	Coeficiente de Saturación
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más 150 mm							
Rosales (H1)	14	9	7	2	30	1.60	57	13	13	0.88
Rosales (H2)	13	6	6	2	31	1.59	68	17	18	0.91
Chapacuate (H3)	2	-4	-4	1	36	1.60	69	16	16	0.94
Chapacuate (H4)	3	4	3	1	24	1.5	68	16	23	0.69
Martel (H5)	9	7	7	1	31	1.59	73	16	17	0.86
Martel (H6)	10	5	6	1	24	1.56	42	17	21	0.92
Puelles (H7)	8	5	7	2	18	1.58	34	13	18	0.77
Condesur (H8)	9	3	3	1	35	1.56	64	16	18	0.92
Santa Cruz (H9)	9	6	7	1	19	1.59	32	17	19	0.95
Martin (H10)	11	4	5	2	17	1.58	30	17	18	0.97
La Esperanza (H11)	10	4	5	3	17	1.56	18	12	13	0.90
Miraflores (H12)	3	5	5	2	20	1.58	43	15	17	0.96
César (H13)	2	-1	1	1	21	1.61	26	14	16	0.86
PROMEDIO	8	4	4	2	25	1.58	50	15	17	0.89

Conclusiones

- ✓ Los resultados muestran que la calidad del ladrillo, depende del proceso empleado por cada ladrillera. Las ladrilleras: Rosales, Chapacuate y Martel, muestran resultados muy similares para cada uno de sus hornos.
- ✓ En promedio se cumple con la variación de dimensiones permitida por la norma E.070 (2006), clasificando por este concepto como Ladrillo clase I.
- ✓ De acuerdo al alabeo se clasifican, incluso como ladrillo clase IV y clase V.

- ✓ La resistencia promedio a compresión axial, es de 25 Kg/cm², es decir no clasifica ni como clase I, ya que el mínimo requerido es de 50 Kg/cm².

“Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región Junín”

Tesis para optar el grado de Magíster – PUCP – Escuela de Graduados – Mención en Ingeniería Civil.

Dionisia Rosa Aguirre Gaspar (2004)

El objetivo del estudio fue determinar las características estructurales de la albañilería y sus componentes, con unidades fabricadas artesanalmente en las diferentes zonas de la región Junín (ciudad de Huancayo).

Los resultados de los ensayos mostraron que la resistencia a compresión de las unidades no alcanza el mínimo especificado en la norma E.70 vigente, con un promedio de 39.4 Kg/cm², pero por los otros resultados, estas unidades clasifican como clase II ó clase III.

La albañilería construida con estas unidades, muestra los siguientes resultados: $f'_m = 27.9$ Kg/cm², $E_m = 11570$ Kg/cm², $v'_m = 5.7$ kg/cm², $G_m = 6640$ Kg/cm², es decir una baja resistencia en compresión y regular comportamiento en corte. A continuación los resultados por cada zona estudiada.

Zona	Variabilidad dimensional en %			Alabeo (mm)	Resistencia a compresión de unidades (Kg/cm ²)	Densidad gr/cm ³	Succión (gr)	Absorción (%)	Absorción máxima (%)	Coeficiente de Saturación
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más 150 mm							
Palian	0.7	0.9	0.6	1.33	31	1.49	51.01	19.04	26.93	0.71
Cajas	0.9	1.3	0.9	1.53	34.4	1.59	78.53	16.58	25.33	0.65
Saña	2.3	2.0	1.2	2.05	46.2	1.68	123.31	17.73	25.09	0.71
Jauja	1.2	0.7	0.5	2.13	46.1	1.39	63.12	24	34.77	0.69
Promedio	1.28	1.23	0.8	1.76	39.4	1.54	78.99	19.34	28.03	0.69

2.3. Planteamientos Teóricos

2.3.1 Breve Historia

El uso de ladrillo como elemento constructivo, se conoce desde la antigüedad, así por ejemplo la palabra “adobe” proviene del término egipcio “ladrillo de barro crudo”. Las primeras construcciones realizadas con este material se dan en la Mesopotamia: Tell Mureybet y Ali Kosh (un yacimiento arqueológico localizado en el sur de Irán) en el IX milenio A.C. Se trata de casas rectangulares construidas en tapial (mezcla de tierra, arcilla y elementos aglutinantes) de características muy primitivas.

En el VIII milenio A.C. se detectan en Mureybet viviendas edificadas con bloques calcáreos unidos por mortero de arcilla. Simultáneamente en Ali Kosh aparecen los primeros adobes, aunque de muy pequeño tamaño y destinados a conformar depósitos y pequeños almacenes. Estos serán los sistemas de construcción hasta que por los años 5500 a.c. se comiencen a erigir edificios de adobe, ejemplo de este período es el Miranete de la Mezquita Al Askain, declarado patrimonio de la humanidad (foto 2.5).



Fotografía Nª 2.5:
Miranete de la Mezquita Al Askain,
declarado patrimonio de la Humanidad
(<http://es.wikipedia.org>)

En el año 3000 a.c. aparece el ladrillo cocido (palacio de Nippur en Mesopotamia). Posteriormente la cultura del imperio romano fue la gran difusora de la construcción en ladrillo.

Como hemos visto brevemente, la fabricación de productos cocidos de arcilla tales como ladrillos y tejas, es quizás la industria más antigua de la humanidad. Por lo menos es la industria más antigua de la producción en serie (griegos y romanos). Sin embargo, a pesar de los años y siglos que se producen ladrillos, es la que menos ha evolucionado en relación con otras industrias, en el sentido que todavía hoy se sigue produciendo, en muchas ciudades del Perú, con la misma técnica artesanal. Los costos que involucra la industrialización le impide a ésta, competir con la producción artesanal, que tiene bajos costos de producción.

Desde épocas muy antiguas, en las construcciones de tierra, se mezcla barro y fibras vegetales (paja) que una vez moldeados y secados (adobes) se utilizan para la construcción de viviendas. En otros casos se moldean en estado húmedo (tapial). Una excelente apreciación de este tipo de construcción es la bi milenaria ciudad de Arg-é Bam, en Irán, la mayor estructura de tierra en el mundo (foto 2.6).



Fotografía Nª 2.6: Ciudad de Arg-é Bam, en Irán (<http://asiahistoria.blogspot.com>)

En el Perú muchas de las cultura pre-incas utilizaron diversas formas de albañilería. El adobe y la piedra fueron utilizados como unidades de construcción y el barro se usó como mortero. Entre estas culturas tenemos a Chavín, con sus templos adoratorios. En la costa usaron adobe y barro y en la sierra, piedra y barro, entre sus construcciones destaca el templo denominado el Castillo.

Los Mochicas también usaron el adobe, sus construcciones eran de carácter religioso, destacan la Huaca del Sol con 18 mts. de altura y la Huaca de la Luna, ambas ubicadas en el valle de Moche, cerca de la ciudad de Trujillo (foto 2.7).



Fotografía N° 2.7:
Huacas del Sol y la Luna.
(<http://espaciolaboral.com.ar>)

De la cultura Chimú destaca la ciudadela de Chan Chan, la mayor construcción de barro en el Perú Pre inca (foto2.8).



Fotografía N° 2.8:
Ciudadela Chan Chan
(<http://todo-peru.com>)

Tiahuanaco, también destaca con sus construcciones en albañilería de piedra, por ejemplo el conjunto Pumakunko y la fortaleza Calasasaya.

Finalmente, Huari cuya más grande expresión arquitectónica es la ciudad de Pachacámac.

Ya en el período incaico, sin duda destacan las construcciones en albañilería de piedra. Ollantaytambo y otros principalmente en el Cusco, Cajamarca, también en Huánuco Pampa, Huánuco Viejo ó Huánuco Marca (foto 2.9)



Fotografía N° 2.9: Estructuras de albañilería de piedra en Huánuco Viejo ó Huánuco Pampa (<http://affairesjs.com>)

La forma y la técnica en las construcciones de tierra (adobe y tapial), son muy similares a los que se emplean aun en la actualidad, principalmente en los denominados "pueblos jóvenes", que rodean a las ciudades del interior del país. Sin embargo existe la tendencia de ir sustituyendo progresivamente, por construcciones denominadas de "material noble", estructurados con una mixtura de pórticos de concreto reforzados con muros de albañilería confinada de ladrillos de arcilla cocidos.

En estos sistemas, tiene gran demanda la utilización de ladrillos artesanales, por su menor costo y aparente similitud con los del tipo industrial. Por ello, si la gran demanda de ladrillos en el mercado no es exigente y prácticamente no existe control sobre su producción y venta, entonces continuará empleándose mayoritariamente los ladrillos del tipo artesanal. Ya en el año 1982, un trabajo de tesis de Elena Sánchez (ref. 6), determinó que en el área de Lima Metropolitana, el 75 % de la producción total de ladrillos de arcilla cocida, eran del tipo artesanal. La situación en el interior del país, es con porcentajes aun mayores, debido a que no cuentan con plantas de producción industrial, y un reducido número de viviendas utilizan los ladrillos de producción industrial que son transportados desde la ciudad de Lima.

Estas circunstancias obligan a dirigir los esfuerzos y la investigación en la producción artesanal, que sin llegar a industrializarlo (lo que aumentaría los costos de producción) conduzca a mejorar la calidad de sus productos, con una mayor resistencia a las cargas y mayor durabilidad frente a las inclemencias del clima.

Es indudable que aun cuando se pretenda industrializar una instalación existente, o construir una nueva planta, los principios básicos sobre la preparación de arcillas, el criterio que debe primar sobre las mezclas, la importancia de las distintas fases de la producción, serán los que den a la instalación la mayor garantía de éxito en los resultados prácticos y

económicos de dicha planta. No se debe confiar todo a una perfecta mecanización, si el criterio que impera sobre el tratamiento de las tierras, los principios de secado y cocción es aplicado deficientemente. Por ello, haremos primero una revisión de los principios básicos que involucra la producción de ladrillos de arcilla cocida, para luego describir la técnica empleada en la ciudad de Huánuco y finalmente proponer mejoras en las unidades artesanales.

2.3.2 Principios Básicos de la Producción de Ladrillos de Arcilla Cocida.

Se extrae un resumen de las publicaciones en referencia (8, 9 y 10) complementadas con la práctica aplicada en Huánuco.

a. De la Materia Prima

Conocido también como crudo o simplemente arcilla (foto 2.10)



Fotografía N° 2.10: Crudo para fabricación de ladrillos. Cocida presenta tonos amarillentos ó rojizos según la cantidad de óxido de hierro en su composición (<http://drpez.net>)

En la producción de ladrillos intervienen materiales muy diversos principalmente diferentes tipos de materia prima. Además, los procesos de producción no son idénticos. Por lo tanto, el intercambio de experiencias y los resultados de ensayos no deben utilizarse directamente. No obstante sirven como valiosos indicadores para posteriores trabajos e investigaciones.

No solamente la materia prima, sino también las modificaciones impartidas en el transcurso de la fabricación, determinan si la arcilla o masa preparada son adecuadas para la obtención del ladrillo. Por consiguiente, el dictaminar si una arcilla es apropiada para determinada clase de ladrillos no puede basarse únicamente en la materia prima, sino que el dictamen debe incluir también a su tratamiento.

Existen tantas variedades de arcilla y de métodos de trabajo, que las cualidades del material a emplear pueden modificarse ampliamente mediante distintas combinaciones y mezclas.

Por otra parte, a medida que va pasando el tiempo en la explotación de la cantera (ó yacimiento), cobra importancia la cuestión de la materia prima, debido a la composición casi variable de las capas de arcilla del yacimiento.

La preparación de la arcilla comprende la trituración, la mezcla y el reposo o madurado, siendo importante el orden en que tienen lugar estas fases de trabajo. En este caso, al igual que para todos los demás procedimientos de fabricación, las consideraciones económicas impiden

el empleo de soluciones técnicamente buenas. Esto debe tenerse en cuenta, principalmente cuando se trata de productos baratos como los ladrillos artesanales.

Los métodos de extracción de la arcilla pueden tener gran influencia sobre su preparación, porque en la extracción ya se produce la trituración y mezcla.

En la fase de moldeo se distinguen dos procedimientos: seco y húmedo. En cada caso el rendimiento depende en gran parte de la preparación de la arcilla.

La preparación, la trituración y la mezcla de arcillas tienen gran influencia en el resultado del secado. Resulta que casi todos los procesos de trabajo influyen sobre el resultado. En consecuencia no deben considerarse por separado las distintas fases de fabricación, ya que el conjunto de la producción ladrillera requiere una correcta concordancia de las distintas instalaciones entre sí y con respecto a la materia prima.

b. El Yacimiento de Arcilla

En la instalación de grandes fábricas de ladrillos es necesario explorar el yacimiento de arcilla, que muchas veces no aflora en la superficie, por lo que a través de sondajes que varían hasta 30 mts. de profundidad se explora el subsuelo y se determina la potencia y calidad del yacimiento (foto 2.11).

En instalaciones de producción artesanal los yacimientos de arcilla explotables son aquellos que afloran a la superficie. Por lo general sobre el mismo yacimiento se encuentran las zonas de moldeo, secado y cocción.

Como es natural, en la explotación de yacimientos de arcilla influyen también puntos de vista locales y económicos. El caso más sencillo es el que corresponde al yacimiento de arcilla situado en un terreno que ni es buena tierra de cultivo, ni sirve como solar para construcción.



Fotografía N^o 2.11: Yacimiento de Arcilla, explotada con maquinaria pesada con fines de industrialización (<http://segemar.gov.ar>)

c. Composición de las Arcillas, extracción y Comportamiento.

Hay una gran variedad de arcillas y es muy difícil que dos arcillas de distintos yacimientos, que por idénticas que parezcan, al analizarlas resulten iguales. Por lo tanto no se encuentran dos arcillas que se comporten igual, que se trabajen de la misma manera, ni que absorban la misma cantidad de agua.

En relación con las demás materias componentes del crudo, conviene que la arcilla pura (47% sílice, 39% alúmina y 14% agua) represente como mínimo 25% del total del material componente del barro. Lo ideal para que la pasta sea adecuada al moldeo de ladrillos, es que el porcentaje de arcilla pura sea superior a un 30% o la tercera parte aproximadamente. Cuando el crudo tiene menos del 25% de arcilla pura, indica que es poco plástica, ofrece muchas dificultades al moldeo. Generalmente tiene, además de un exceso de arena, un exceso de cal o carbonato de calcio.

La arcilla pura puede variar de 25 a 70% del total del crudo, el restante debe contener un porcentaje de arena que es conveniente en un 30% para el control del agrietamiento. El carbonato de calcio, que es el enemigo principal de la industria ladrillera, llega a tener a veces porcentajes importantes que imposibilita prácticamente la utilización del crudo. Puede ser aceptable hasta 1% de contenido de carbonato de calcio.

No puede establecerse teóricamente hasta qué proporción de carbonato permite la utilización de la arcilla, porque está íntimamente ligada con la molienda del crudo. En el caso de molienda a mano, será conveniente no tener ningún porcentaje de carbonato de calcio. Esto porque si se tiene gránulos superiores a 3 o 4 mm de diámetro (conocido como caliche, fig.2.4) una vez cocido el ladrillo se produce la hidratación de los gránulos de carbonato de cal. Al aumentar su volumen, hace explosión, perjudicando a las unidades fabricadas hasta el punto de deshacerlas completamente.



Fig. N°. 2.4: caliche
(<http://introgeo.gi.fcen.uba.ar>)

Cuando no se tenga manera de perfeccionar la molienda hay dos consejos dados por Splinger (1954), para disminuir las explosiones de los gránulos de carbonato de cal:

- ✓ Cocer los ladrillos a la máxima temperatura que permita el crudo con que se ha fabricado el ladrillo, lo que vulgarmente se dice "un poco pasada de fuego" ; y,
- ✓ Someter los ladrillos cocidos a una humectación o riego con agua para provocar la erosión del carbonato de cal sin que se produzca explosión.

En todo caso, cuando no se disponga de maquinaria adecuada para la molienda extraordinariamente fina de la tierra a tratar, es conveniente desechar las tierras que contengan carbonato de calcio en una proporción superior al 15%. También existen maquinarias que separan las piedras y otros productos extraños de la arcilla, pero obviamente su uso está limitado a grandes fábricas.

Cuando se disponga de molinos de gran capacidad y que al propio tiempo permitan la obtención de un grano muy fino, pueden usarse tierras que contengan hasta un 20% de carbonato de cal.

Si no se dispone de resultados de análisis, una forma práctica para saber si el contenido de carbonato de calcio es perjudicial o no, es cocer un ladrillo y dejarlo expuesto a la acción atmosférica de la humedad ambiente durante 10 a 12 días. Si al cabo de ese tiempo no se han producido explosiones ó roturas, es posible utilizar esa materia prima.

De acuerdo con el contenido de arena en el crudo, esta toma el nombre de magra (> 30%) o plástica (< 30%). En resumen, se puede afirmar que todas las arcillas que no contengan cal ni yeso, son perfectamente utilizables para la fabricación de ladrillos, tanto si son magras o grasas.

Cuando el crudo es extraordinariamente graso, es decir, sin proporción notable de arena y con poca cal, su impermeabilidad constituye una dificultad, sobre todo, para el secado ya que es fácil que su contracción supere el 10% ó 12 %. En tales casos es aconsejable mezclarlos con tierras más arenosas.

La forma más sencilla y antigua de obtención de la arcilla es la extracción a mano. Los barros y arcillas sueltas pueden extraerse simplemente con picos y lampas. La extracción a mano facilita la eliminación de elementos extraños en el crudo como piedras, caliches, etc. El proceso consiste en ir eliminando las materias extrañas conforme se va picando la tierra.

En las fábricas modernas se emplean maquinarias especializadas para la extracción, limitándose la excavación manual a aquellos casos en que el yacimiento contenga materias extrañas y/o cuando la potencia del yacimiento sea mediana.

El comportamiento de las diversas clases de crudo para la fabricación de ladrillos se resume, según Eloy Robusté(1969), en el siguiente cuadro:

Tipo de crudo	En el moldeo	En el secado	En el cocido	Resistencia del ladrillo
Grasa y mal molida	BIEN	MAL	MAL	POCA
Grasa y bien molida	MUY BIEN	REGULAR	BIEN	REGULAR
Magra y mal molida	INAPROVECHABLE			
Magra y bien molida	BIEN	MUY BIEN	MUY BIEN	MUCHA
Magra bien molida mezclada con arcilla grasa plástica	MUY BIEN	BIEN	BIEN	MUCHA

2.3.3 Etapas de producción

2.3.3.1 La Preparación de la Arcilla ó amasado

La preparación de la arcilla tiene por objetivo transformar la arcilla del yacimiento, de manera que se le proporcionen todas las características deseadas y exigidas para proseguir el proceso de fabricación. Por esto la preparación de la arcilla puede designarse como la fase de trabajo situada entre la extracción y el moldeo, pudiendo dividirse en las tres fases siguientes: Maduración, Trituración y Mezcla.

a) Maduración de la Arcilla

En realidad la maduración de la arcilla, es la forma de preparación más antigua que se conoce. El hecho de que las cualidades de las arcillas puedan mejorarse por un reposo de cierta duración, se conoce desde hace mucho tiempo.

El almacenamiento de las arcillas en capas de poco espesor, sometidos a la acción del frío, producen en ella un esponjamiento y aumento de su plasticidad (capacidad de moldeo), además de un aumento de la cohesión.

El "invernado" del crudo consiste en un almacenamiento al aire libre durante cierto tiempo, y a ser posible en invierno, de la arcilla no preparada, excavada y no tratada previamente.

El "enfosado" significa el almacenamiento en fosas de la arcilla ya preparada. El "podrido" de la arcilla significa un almacenamiento de ésta durante pocos días en un ambiente cerrado al aire y a la luz, es necesario para la fabricación de tejas.

La duración del reposo de la arcilla no puede fijarse, en general un reposo muy largo nunca es perjudicial. La duración se obtiene mediante un sencillo ensayo de la arcilla almacenada, cuyas cualidades se comprueban constantemente a lo largo de dicho tiempo; los que trabajan en un determinado yacimiento saben del tiempo que requiere ese crudo. En todo caso, la arcilla, al abandonar el foso no ha de presentar ninguna partícula sin disgregarse, debiendo formar una masa homogénea bien mezclada y uniformemente humedecida, que posea la plasticidad necesaria para el moldeo. De esto se deduce que las arcillas que se disuelven con dificultad en el agua (que absorben mal) requieren para su maduración total un tiempo más largo que las de fácil disgregación, que ya son plásticas en el yacimiento.

Amasar, propiamente, consiste en mezclar íntimamente una cantidad determinada de agua, con una cantidad de tierra y el amasado será tanto más perfecta cuanto más uniforme sea la mezcla de agua y tierra.

El barro que no está íntimamente mezclado con agua, se rompe con mucha facilidad porque todas aquellas partes que no están humedecidas, son fisuras por donde la rotura es fatal, pues no hace ligazón alguna. En cambio, la plasticidad del barro radica más en la íntima mezcla del agua, como quedó demostrado en el tratamiento del barro con el vacío, pues lo que realiza este sistema es expandir y repartir uniformemente el agua, sometiendo al agua a una tensión que la pulveriza y obliga a penetrar en todas las partículas del barro.

Otra demostración de que la uniformidad de la humectación, da una excelente plasticidad al barro, es que añadiendo agua caliente a 90 ó 100°C para el amasado, se consigue un barro extraordinariamente plástico equivalente al barro humedecido de mucho tiempo, porque el agua caliente, que casi es vapor penetra fácilmente y se pone en contacto con todas las partículas de tierra no dejando espacios secos o poco húmedos que son los que producen mala calidad en el barro.



Fotografía N^a 2.12: Invernado de arcilla para producción artesanal en una ladrillera de Huánuco.

b) Trituración de la Arcilla

En la producción industrial de ladrillos, la trituración de la arcilla en gran escala, se realiza con maquinaria (foto 2.13). Al contrario, la producción artesanal, se limita al empleo de crudos que ya presentan un cierto grado de desmenuzamiento en el propio yacimiento, o bien que se disgrega mediante reposo de cierta duración, haciéndose plásticas y quedando libres de partículas no disgregadas, de manera que con ellas se puedan moldear a mano los ladrillos con las gabereras (gradillas o moldes).

Hoy en día, se emplea maquinaria para facilitar la maduración de la arcilla, cuyas partículas previamente trituradas, ofrecen a los agentes atmosféricos o bien al agua de preparación, una mayor superficie de ataque, lográndose así una aceleración del proceso de madurado. Es importante señalar que casi la totalidad de arcillas para la fabricación de ladrillos se desmenuzan y preparan por el procedimiento húmedo.



Fotografía N^a 2.13: Equipo para triturar arcillas por vía seca (<http://mocsa.es>)

c) Dosificación o Mezcla

Por lo general se da poca importancia a la mezcla de diferentes clases de arcilla disponibles, y tampoco se aplican sistemas de dosificación. Sin embargo, estos dos aspectos tienen gran influencia en la preparación de las arcillas para el moldeo. Debido a que la mezcla del crudo, ya sea con adición de arcilla o tierra arenosa, siempre representa una complicación y, sobre todo, un empleo de mano de obra adicional, en la producción artesanal se busca más bien una tierra que a la vista y tacto del ladrillero experimentado se considera que es buena para la fabricación de ladrillos sin la necesidad de incurrir en el proceso de mezclado.

Por otro lado, la mezcla debe ser lo más perfecta posible, porque de lo contrario los efectos que se esperan de ella no tendría lugar, y en la fase de secado se presentarían irregularidades e inconvenientes que deben evitarse. En estas circunstancias, una buena mezcla solo es posible obtener a través de maquinaria especializada, lo que por su costo solo es utilizado en grandes fábricas (foto 2.14).



Fotografía N° 2.14: Maquinaria especializada para mezclado (<http://imosonline.com>)

Por lo general, cuando la arcilla contrae más del 7% hay riesgo de que las unidades se fisuren o deformen en el secado. Entonces es recomendable, y es la solución más práctica y barata, buscar tierras magras exentas de cal, para mezclar con la arcilla cuya contracción sea peligrosa. Como quiera que la mezcla de tierras magras con la arcilla requiera el uso de maquinaria especializada, una forma más sencilla de dosificación de la arcilla se logra con productos vegetales secos, como paja, cáscaras de arroz, aserrín, etc. La paja, en realidad, es una mezcla mucho mejor que la tierra arenosa, porque sin quitar plasticidad a la arcilla, ni modificar sus esenciales características, evita que al contraerse el ladrillo se produzca torsión peligrosa o una fisura en sus caras exteriores, porque distribuida uniformemente por la masa que forma el ladrillo, equivale a lo mismo que si distribuidos por el centro de la arcilla, hubiera espacios huecos. Estas materias vegetales cuando se mezclan durante el proceso de amasado, con la humedad aumentan considerablemente de volumen, y cuando se van secando dejan unos espacios huecos en el interior de la arcilla, que son los que permiten precisamente, la contracción de la arcilla, sin que se desarrollen esfuerzos violentos al comprimirse la pasta por su contracción y que ocasionan las fisuras y alabeos que malogran las unidades.

En consecuencia es bueno mezclar vegetales secos como paja, tanto si es de trigo, arroz, etc. y diversas cáscaras, de arroz, por ejemplo e incluso aserrín. En caso de usar aserrín, es preciso eliminar todos aquéllos trozos de madera que dificultarían el moldeo y otros defectos que se producirían en la cocción, ya que todos estos quedan eliminados en la cocción.

En cuanto a la proporción, es preciso en cada caso establecerla, después de un estudio minucioso, y después de comprobados los resultados por la práctica. Por lo general, tratándose de arcillas corrientes, con una contracción del 6 al 8% puede mezclarse en volumen, un 10% como máximo de paja triturada, cáscara de arroz o aserrín.

Además de evitar las fisuras, rupturas y alabeos de las unidades durante el secado, se obtiene una mejor facilidad en la cocción, ya que, antes de llegar el fuego a la unidad, cuando éste alcanza una temperatura de más 550 °C, arden las partículas vegetales, calentando el ladrillo y disponiéndole mejor para la cocción final.

Es importante recordar que una buena preparación de la arcilla permite eliminar defectos en las fases siguientes, o bien facilitan o aceleran el proceso de trabajo. Los defectos del secado y cocción, pueden desaparecer mejorando o variando la preparación de la arcilla. De manera especial, defectos e interrupciones que aparecen irregularmente y sin motivo aparente, pueden tener su origen en una preparación defectuosa de la arcilla, en una mezcla mal hecha.

Las arcillas muy grasas (escasos de arena) deben mezclarse con arena o harina de ladrillo, esto los hace mas fuertes al tacto, eliminando dificultades del secado y a veces también de la cocción.

Al proceso de la preparación de la arcilla debe concedérsele una atención especial. Comúnmente se tiende a considerar este proceso como secundario, ya que sus resultados se ponen de manifiesto más bien forma cualitativa. Con instalaciones de preparación adecuadas, no solo puede lograrse la mejora del producto final, sino también la eliminación de muchas interrupciones en el proceso de fabricación. Finalmente lo más importante es que una persona competente, se haga cargo responsablemente, ya que el obtener una adecuada mezcla y preparación de la arcilla depende en último extremo de su buena voluntad.

2.3.3.2 Moldeo

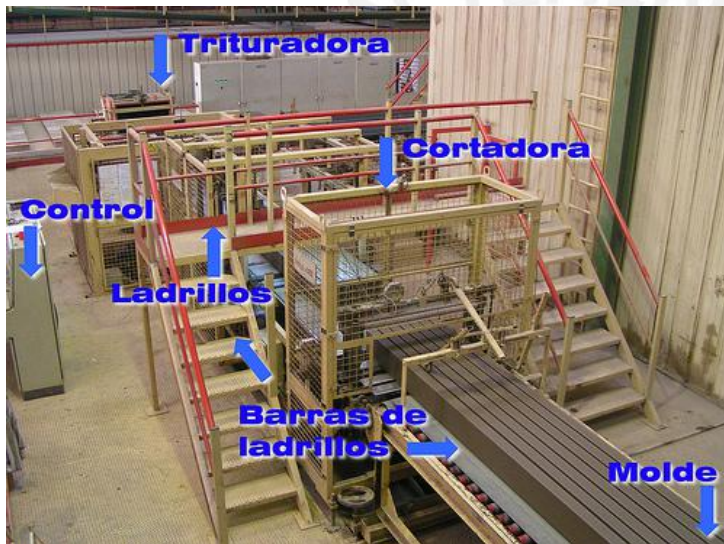
Nos referiremos en este caso al moldeo a mano, aun cuando haremos breve referencia de los tipos de moldeo mecánico.

El moldeo a mano es un procedimiento sencillo de trabajo que se emplea cuando por razones económicas resulta imposible disponer de instalaciones mecánicas de gran amplitud. En un procedimiento de fabricación artesanal, es natural que la arcilla debe poderse emplear partiendo directamente del frente de extracción, no pudiéndose tomar en consideración en este caso una complicada preparación de la misma. Como máximo dicha preparación puede consistir en un picado de la arcilla y maduración

Cuando no se dispone de maquinaria, con frecuencia se mejora la preparación de la arcilla disgregándola con un pisado, como ocurre en las plantas artesanales.

El moldeo de ladrillos a mano con frecuencia se realiza en el mismo lugar en que éstos deben extenderse para su secado. Los ladrillos, una vez moldeados, se dejan en el mismo sitio y se secan. Los moldes empleados son de madera, generalmente cada molde tiene una capacidad para extraer 04 unidades, son conocidos como GABERAS o GRADILLAS. El trabajo de la masa es más blando que en el moldeo con maquinas (extrusora). Para la lubricación del molde se usa arena y agua. Antes del moldeo se introduce la gabera en agua y luego en arena, así las paredes quedan impregnadas de arena, lo que facilita el desprendimiento de la arcilla de las paredes del molde. Esta operación se realiza cada vez que se usa el molde.

Otros procedimientos de moldeo mecanizado son: la galletera, prensa de vacío y el prensado en seco para arcillas esquistosas (foto 2.15)



Fotografía N^o 2.15:
Moldeo mecanizado en
planta industrial
(<http://quimicaimem.blogspot.com>)

Es necesario indicar también cuales son los distintos aspectos que influyen en la obtención de un moldeo adecuado:

- Trituración y molienda
- Amasado
- Tipo de arcillas, más o menos graso
- Sistema de moldeo
- El molde, especialmente los ladrillos huecos, en cuanto al grosor de sus paredes o nervios.

Todos estos factores están ligados entre sí, ya que puede moldearse con un barro relativamente mal molido y mal humedecido si se trata de ladrillos macizos o sin huecos, con paredes que sobrepasen 1.50 cm.

2.3.3.3 Secado

a. Fundamentos y sensibilidad del secado.

El ladrillo moldeado posee una escasa estabilidad propia debido al agua añadida para el moldeo, que debe eliminarse nuevamente por secado dando lugar al fenómeno de contracción del ladrillo.

El ladrillo crudo debe poseer tal fuerza de cohesión que pueda resistir sin inconvenientes las tensiones que aparecen en el secado.

Por otra parte todas las arcillas no poseen la misma sensibilidad al secado. Existen arcillas sensibles, aquéllas que moldeadas en una forma determinada solo secan lentamente; y existen otras arcillas que son insensibles; sin embargo hay que tomar en cuenta que el moldeo como las variaciones en la preparación de la arcilla (especialmente la mezcla y maduración) influyen desfavorablemente sobre el resultado del secado.

Los defectos propios del secado son dos:

- Las irregularidades provocadas por la contracción de ciertas partes del ladrillo (alabeo)
- La destrucción o daño del ladrillo por las tensiones de vapor (fisuras ó microfisuras), éstas solo pueden formarse una vez que se ha secado la capa exterior del ladrillo, es decir este último defecto aparece sólo en la segunda parte del proceso de secado.

El mayor número de defectos de secado puede considerarse que se debe a la contracción. Si el agua contenida en el ladrillo se distribuyera, en cada instante, uniformemente en la masa del ladrillo moldeado, la contracción de las distintas partes se produciría uniformemente. Por desgracia esto no ocurre debido a que es difícil lograr que el desplazamiento del agua del interior a la superficie del ladrillo sea tal que el líquido que llega sea igual al que se evapora.

En términos generales se puede decir que solo una arcilla de gran contracción y buena cohesión podrá siempre secar mejor que otra de gran contracción pero con poca fuerza de cohesión. También un ladrillo de gran porosidad y con superficie rugosa es siempre más sensible que otra de grano fino y superficie lisa.

En todo caso las magnitudes: contracción, contenido de agua, relación superficie a volumen y permeabilidad del aire, han de permitir encontrar una unidad de medida de la sensibilidad al secado.

También ejerce una gran influencia la forma del ladrillo, que excepto por lo que se refiere a la rugosidad de la superficie no puede ser tenida suficientemente en cuenta a los factores que acaban de señalarse.

Como se dijo la primera dificultad en el estudio del secado es la infinita diversidad de arcillas, pues no se encuentran dos arcillas de idénticas características y que absorban la misma cantidad de agua, por lo tanto, no puede procederse al secado del mismo modo.

En el aspecto físico, la finura de la molienda altera notablemente las condiciones de humectación y secado, pudiéndose establecer que las tierras molidas de grano grueso son mucho más permeables que las de grano fino y, por consiguiente, su secado se realiza con mayor rapidez.

En el moldeo es conveniente que la molienda sea finísima y en cambio para secarlas, sería más bien conveniente que los granos no sean tan finos, esta contraposición de los requerimientos de la molienda para el moldeo y secado fija de por sí las dificultades que ofrece la producción de ladrillos, sin embargo como el moldeo de las unidades es

imprescindible, debe ser el secado el que resuelva el problema de evaporar el agua de las unidades trabajadas con la máxima plasticidad en el moldeo.

Al añadir agua a la arcilla, ésta aumenta de volumen y según sus características el aumento puede ser mayor o menor. En arcillas de grano fino el aumento es superior debido a la mayor superficie en la cual se deposita el agua en forma de película, por eso son más plásticas y más difíciles de secar y sufrirán mayor contracción en el secado.

Las tierras procedentes de la cantera llevan de por sí una determinada cantidad de agua íntimamente mezclada, al que se añade otra agua cuya mezcla nunca será tan perfecta ni tan íntima como la primera. De la perfección que se obtenga en la mezcla de esta segunda parte de agua, depende su mayor o menor plasticidad y en este sentido el moldeo al vacío resulta muy interesante porque contribuye a la íntima mezcla del conjunto de agua con que se ha humedecido la tierra y porque además se utiliza menor cantidad de agua.

De lo anterior podemos señalar que los factores que intervienen en el secado son:

- ✓ Grado de finura de la molienda
- ✓ Capacidad de absorción de la arcilla
- ✓ Higrometría de los componentes de la arcilla
- ✓ Necesidad de Plasticidad
- ✓ Velocidad de la difusión de la humedad central hacia la periferia del ladrillo, según la calidad de la arcilla

Lo que resulta evidente es que no puede procederse violentamente a extraer el agua del ladrillo porque en tal caso, ya sea utilizando exceso de calor o de aire, se produce una diferencia de secado entre la superficie del ladrillo y el interior de la misma que ocasiona las roturas, alabeos, deformaciones y hendiduras de las unidades. El secado natural solo depende de la capacidad de absorción del aire. El aire tiene mayor o menor capacidad de absorción de humedad según la humedad relativa que posee en el momento de entrar en contacto con las unidades.

En su primer contacto con las unidades, el aire elimina el agua que está en la superficie e inmediatamente en el interior del ladrillo se produce una reacción que tiende a distribuir por igual la cantidad de agua que todavía existe en dicha parte. Como la arcilla es extraordinariamente higrométrica, tiende a absorber la humedad y repartirla por todo su interior.

Este fenómeno se observa dejando caer una sola gota de agua en un ladrillo seco o cocido y poco después desaparece porque se han repartido en todas direcciones en la unidad, y del mismo modo cuando se seca la superficie o se extrae su humedad, se establece una corriente en sentido contrario, es decir, del interior al exterior para conseguir uniformidad de humectación.

En consecuencia, todo el problema del SECADO, gira en torno al siguiente punto:

“La velocidad con que se procede a eliminar el agua contenida en la superficie exterior de la unidad no debe ser superior a la velocidad en que automáticamente el agua contenida en el interior del ladrillo se reparte hacia los extremos o puntos exteriores de la misma”.

Debido a esto, son diferentes los procesos de secado que exige cada arcilla. Cuando la velocidad de redistribución de la humedad en el interior del ladrillo sea inferior al que se produce en secar la superficie, se producirá una contracción en las partes exteriores o en la periferia que ocasionará la deformación ó rotura del ladrillo (Robusté 1969).

b. Secaderos al aire libre

Hay que distinguir entre instalaciones de secado natural y artificial. Las primeras, o al aire libre, pueden ser en terreno descubierto o en eras (foto 2.16). Este tipo de secadero solo puede emplearse en lugares donde el clima lo permita o en todo caso por temporadas, según la estación.



Fotografía N° 2.16:
Secadero al aire
libre, sin cubierta
(<http://ladrillosrusticos.com>)

Otra manera de secadero al aire libre es el que se efectúa bajo cubierta, estos no poseen calefacción artificial, pero están protegidos de los agentes atmosféricos (principalmente lluvias) mediante techos livianos, y además, la velocidad del secado podría regularse en estas instalaciones mediante persianas que puedan cerrarse (foto 2.17).



Fotografía N° 2.17: Secaderos al aire libre bajo cubierta
(<http://diariodeunarquitecto.blogspot.com>)

El secadero artificial más antiguo es el que aprovecha el calor que desprende el horno, actualmente utiliza generadores adicionales de calor (calentadores de aire, vapor o gas) para lograr un secado más rápido.

Como se ha establecido, en el secado natural, se dejan los ladrillos húmedos al aire libre o bajo techos livianos. Si la renovación del aire se produce sin velocidad estos productos pueden quedar secos en una o dos semanas dependiendo del clima del lugar.

En climas adecuados el secado al aire libre tiene la ventaja de ser rápido. En este caso, el secado de las unidades se obtiene mediante la renovación del aire alrededor de las rumas o de los tendales donde secan las unidades luego del moldeo (foto 2.18). Es evidente que esta renovación de aire se produce con mayor intensidad en el aire libre que en los locales bajo cubierta, y, por lo tanto, como el aire tiene una tendencia enorme a absorber humedad en poco tiempo, por su gran renovación, seca las unidades expuestas al mismo. Solo las lluvias y las bajas temperaturas durante el invierno anulan en gran parte las ventajas del amplio contacto del aire con las unidades.



Fotografía N° 2.18: Ladrillos moldeados, luego de canto, finalmente en rumas con cubierta para completar el secado al aire libre (<http://aldoarqangel.blogspot.com>).

En los lugares donde la temperatura en invierno se mantiene, incluso en la horas de noche, por encima de los 0°C , un sistema que da buenos resultados consiste en evitar únicamente el peligro de la lluvia, lo que se obtiene construyendo coberturas livianas. Es decir, con buena temperatura igual se puede secar a la intemperie o bajo cobertura con gran circulación de aire y, en caso de bajas temperaturas es necesario realizar el secado en almacenes cerrados.

En la ciudad de Huánuco, con temperaturas entre 14°C a 26°C , la práctica común, ha sido utilizar secaderos al aire libre y en períodos con lluvias (Diciembre – Abril) bajo techo.

2.3.3.4 Cocción

a) Generalidades

Mediante la cocción, el ladrillo logra alcanzar una determinada resistencia frente a las cargas e inclemencias del clima. Después de la cocción, la arcilla ya no puede disolverse en agua y pierde su elasticidad, es decir, que al calentar y enfriar el producto, éste sufre transformaciones de orden físico y químico.

Es fundamental saber cómo y en qué tiempo se aporta al ladrillo el calor que da lugar a dichas transformaciones, si la aportación de calor es demasiado rápida da lugar a un esponjamiento o hasta produce grietas en el ladrillo. El calor aportado mediante los gases de combustión, llega al ladrillo por conducción, y en el propio ladrillo tiene lugar una conducción en la dirección del punto más caliente al más frío. Esta circulación de calor se produce siempre que existe una caída de temperatura entre los gases de combustión, la superficie del ladrillo y el núcleo del mismo. A consecuencia del calentamiento todos los cuerpos se dilatan, y si en el ladrillo existen puntos cuya diferencia de temperatura es demasiado elevada, la dilatación de las diversas partes del mismo es irregular y se ponen de manifiesto tensiones bajo la forma de grietas.

Un proceso inverso se produce cuando se enfrían las unidades, si esto es demasiado rápido, entonces la temperatura de la superficie disminuye también rápidamente y el núcleo mantendrá una temperatura alta, cuya diferencia da lugar a tensiones por causa del calor. Para una buena producción, es condición fundamental la carga de las unidades previamente bien secados, ya que debido a la humedad del producto pueden aparecer las decoloraciones del humeado.

Debido a la mala conductibilidad térmica de la arcilla, las altas temperaturas de las llamas darían lugar a sobrecalentamientos locales que, no sólo deformarían la unidad que empezaría a fundirse, sino que para materiales sensibles podrían llegar a desplazar o derrumbar la totalidad de la carga. En consecuencia la quema del combustible debe llevarse de tal manera de evitar sobrecalentamientos locales, quizás por este motivo sea muy difícil controlar la quema mediante carbón de piedra.



Fotografía N^o 2.19:
Horno de producción
industrial
(<http://www.mazzettisi.stemi.com>)

b) Hornos intermitentes

En la producción artesanal de ladrillos, el horno comúnmente empleado es el llamado intermitente u hormiguero (foto 2.20), debido a que la producción no es continua. El combustible varía desde leña hasta equipos a petróleo o gas.

El bajo costo de su instalación, la facilidad con que puede situarse en cualquier parte, el poder realizar su carguío y cocción por el mismo propietario, contribuye a que estos hornos sigan existiendo a pesar de un gasto desproporcionado de calorías, y un engorroso trabajo para lograr una producción pequeña.

La razón por la que estos hornos siguen empleándose es que el combustible más apropiado para ellos es la leña en forma de ramas, que resulta a unos precios relativamente bajos, sobre todo en zonas tropicales.

Una característica especial del horno intermitente, es que necesita que el combustible tenga mucha llama, para que ardiendo con la máxima rapidez, pueda llegar a penetrar hacia arriba y cocer los ladrillos situados en la parte más alta.

Este tipo de horno consiste en una cámara generalmente cuadrada, donde en la parte inferior se halla un hogar, encima del cual hay un arco de ladrillos que sostienen el material a cocer. Los ladrillos van colocados convenientemente dejando espacios libres por donde pueda elevarse la llama, hasta una altura de 3 a 4 mts.

Dependiendo del tamaño del horno, pueden caber hasta 30 millares de ladrillo KK artesanal. El volumen de una quema queda definido por sí solo, porque se deja libre el paso en la parte superior, y el fuego o llama tiende hacia la salida, como es lógico. No puede, sin embargo, colocarse los ladrillos a demasiada altura, porque no llegaría la llama, y los ladrillos superiores quedarían sin cocer. Por ello estos hornos están limitados a 3 ó 4 mts de altura y cuando se requiere mayor capacidad, se incrementa sus dimensiones en planta siendo necesario en tal caso contar con 2 ó 3 hogares para el fuego.

La cocción en un horno intermitente, requiere una experiencia y práctica enormes, ya que en el carguío hay que prever el paso de la llama para que puedan cocerse por igual (o lo más posible) todos los ladrillos cargados, a pesar de ello, siempre resultan diferencias notables entre los productos quemados. Esta habilidad, solo se consigue con la experiencia, que producen las correcciones constantes por los fracasos cosechados. En este tipo de horno, la cocción se hace guiándose únicamente por las señales exteriores que aparecen en la salida superior, que hace las veces de chimenea.

A pesar de que se procure disminuir el diámetro de la salida de humos, no se pueden gobernar la dirección de las llamas a voluntad. Por ello, la regulación del fuego es imposible de conseguir, cuando convendría que en todas las partes fuera igual. El fuego, al ser directo, tiende a ir por el centro, o por los sitios donde encuentra mayor facilidad de paso.

El fuego, igual que el agua, o que el aire, tiende a pasar por donde encuentra menor resistencia. Por lo tanto conjugando este principio universal con la práctica, y las particularidades de cada horno, hay que dar la máxima importancia a la forma del carguío de los ladrillos a cocer. Si por ejemplo, en una zona determinada, los ladrillos han salido faltos de cocción, es preciso separarlos un poco mas hasta conseguir que las llamas y el calor pasen por allí. Si en otro lugar los materiales han salido

demasiado cocidos, o vidriados, es preciso disminuir el paso de los gases calientes en aquel lugar, y entonces se logrará el punto apropiado, para que su cocción sea la más correcta posible.

Pero en un horno intermitente resulta peligroso hacer varias correcciones a la vez, porque suponiendo que en una parte los ladrillos por salir crudos, se separan, y en otra parte, por salir vidriados se ponen más juntos, puede darse el caso que en la próxima cocción se inviertan los términos de la anterior. Hay que tener en cuenta que al juntar más los ladrillos en un punto determinado del horno, no solo se producirá freno al paso del fuego por allí, sino que significará que en la parte opuesta, o contigua pasará más calor, ya que el fuego cuando encuentra una resistencia en un punto determinado, lo busca por otro sitio, y de ahí la dificultad de realizar varias correcciones en una sola vez porque las repercusiones de una corrección, no se limitan estrictamente al sitio donde se pretende corregir, sino que afectan, además a otras zonas del horno.

En realidad, parte de la técnica en la cocción, lo más importante es la forma de colocación de los ladrillos, éstos deben disponerse de tal modo que sea tupida en la parte donde el fuego es más fuerte, y separarla en aquellas zonas donde el fuego sea menor. Pero esta técnica o habilidad, solo puede conseguirse viendo los resultados de las cocciones deficientes.

En estos hornos, lo ideal sería cocer a presión, precisamente para que el fuego llegue a todas las zonas del mismo, pero como se halla salida libre, en la parte superior, esta presión es prácticamente imposible de conseguir. Por ello, sólo puede cocerse con combustible muy inflamable, como la leña, pues cada carga de leña, que se introduce en la boca de carga, es como si de produjera una explosión, y en los momentos de plena combustión, existe en el interior del horno una notable presión, penetrando el fuego por todas partes. Lo difícil es mantener esta presión por igual durante todo el tiempo que dure la cocción.

De la cubicación total de los hornos se aprovecha aproximadamente un 60%. El 40% restante lo ocupan los huecos que quedan sin material y que son imprescindibles para el paso del fuego.



Fotografía N^o 2.20:
Horno intermitente,
tipo chimenea de
producción artesanal
en Huánuco.

c) Circunstancias influyentes en la cocción

- ✓ Composición de la arcilla, forma y espesor de las unidades y coloración deseada.
- ✓ Humedad normal de las unidades. Disposición en el horno, aislamiento del horno, forma y distribución de los canales del hogar.
- ✓ Longitud de la zona constante de fuego. Sistema de alimentación del combustible. Calidad del combustible empleado

Todos y cada uno de estos enunciados están en íntima relación y de hecho son interdependientes, lo que hace que la cocción sea más bien empírica. En realidad, viene a ser un arte, porque el hornero, lo tiene todo en cuenta, variando constantemente su labor, corrigiendo aquéllas deficiencias que le salen al paso en cualquiera de los aspectos tratados y basándose siempre en reconocer lo que indica el color del fuego.

Además, el que dirige la cocción en un horno, obtiene una producción que responde a la calidad deseada con los medios que dispone. No se puede pretender que espontáneamente varíe sus sistemas. El hornero irá mejorando y perfeccionando su propio sistema de llevar el fuego, en este sentido apunta las mejoras que probaremos aplicar en la producción de ladrillos artesanales en la ciudad de Huánuco.

d) La cocción propiamente dicha

Los materiales que deben sufrir la acción de la cocción pasan, durante el transcurso de la misma por diversos estados; cuando al material alcanza la temperatura de 150°C a 200°C, el agua desaparece totalmente empezando la descomposición de los hidratos de silicio de hierro y de los silicatos de alúmina. A 500 °C la arcilla pura se descompone y las materias orgánicas se queman; entre los 700 y 800 °C se forma una pasta, mezcla de sílice, alúmina, óxido de hierro, de calcio y de magnesio y diversos silicatos; desde 800 a 1000 °C y para algunas arcillas hasta los 1200 °C tiene lugar la cocción, es decir, que los óxidos de hierro se unen con los de alúmina y con la sílice, formándose una especie de vitrificación y la cocción completa tiene lugar cuando la alúmina se ha transformado en silicatos; es decir, la cocción tiene por objeto endurecer los ladrillos de arcilla cruda, haciéndolas resistentes y vitrificándolas para que puedan conservar indefinidamente su forma.

Durante la cocción los materiales toman una coloración que es muy variable, según los componentes de la arcilla, y va del blanco rojizo, amarillo rosado, rojo brillante y rojo oscuro. El color rojo lo proporciona siempre el óxido férrico; si el hierro que contienen las arcillas viene mezclado con cal, magnesio o selenita, la coloración es entonces amarillo rojiza; el color amarillo proviene de la presencia de sal común que ataca al óxido de hierro formando sobre toda la superficie un color amarillo pajizo.

No hay que olvidar que la buena cocción depende principalmente del modo como se ponen los materiales a cocer. Es conveniente ensayar varias formas y métodos de colocar el material, hasta encontrar la verdadera disposición. Desde luego la clave de la cocción consiste en

que el material se coloque bien en el horno, secreto que está al alcance de todos.

Por otro lado, constituye una preocupación general cualquier procedimiento que tienda a simplificar la utilización de combustible y el objeto ideal que persigue todo usuario de horno, podría fijarse como sigue:

- ✓ Facilidad en la regulación del consumo de combustible
- ✓ Utilización de combustible disponible en cualquier circunstancia
- ✓ Combustión total de los mismos
- ✓ Posibilidad de obtener máximas temperaturas
- ✓ Obtención de atmósfera oxidante o reductriz a voluntad.
- ✓ Velocidad de cocción
- ✓ Ahorro de combustible
- ✓ Fácil manejo de los hogares excluyendo interrupciones
- ✓ Evitar la formación de panes de escoria, que dificulta la combustión
- ✓ Evitar la entrada de aire frío en la zona de cocción.

Para ayudar a la circulación del aire caliente, se propone en este trabajo unidades con huecos, a los que se ha añadido 10% de aserrín, los que además de ayudar a evitar las fisuras por contracciones de secado, facilitarán también la cocción, ya que, antes de llegar el fuego a la unidad misma, cuando éste alcance una temperatura de más de 550 °C, arderán las partículas vegetales, calentando el ladrillo y disponiéndole mejor para la cocción final.

2.3.3.5 Comportamiento de la Arcilla durante el Secado y la Cocción.

La característica más evidente de la arcilla consiste en su retracción una vez moldeada y durante el proceso de secado. La contracción de la unidad se produce casi en su totalidad en las primeras 16 horas, mientras que la evaporación de toda el agua contenida en la unidad, necesita por lo menos 3 veces más de tiempo, es decir luego de las primeras 16 horas, la unidad sigue haciendo contracción, pero muy lentamente. En términos generales, los cambios que se producen en la arcilla, desde que se moldean hasta que se enfrían después de la cocción, son:

- ✓ Rápida contracción en el primer período de secado, cuya duración depende de la temperatura y corrientes de aire disponibles.
- ✓ Contracción lenta hasta que entran al horno
- ✓ Rápida contracción de las unidades, en la etapa de precalentamiento del horno, cuando se evaporan las aguas residuales que todavía contiene el ladrillo. Esta contracción y evaporación simultánea se producen entre los 350°C y 500 °C.
- ✓ Contracción lenta en la primera fase de cocción, hasta los 850 °C.
- ✓ Rápida contracción en la última fase de cocción, de 850 a 900 °C.
- ✓ Cuando el porcentaje de cuarzo es notable, entre los 500 y 600 °C se produce un aumento de volumen instantáneo e inevitable cuyas consecuencias pueden ser graves, según la disposición de los ladrillos en el horno

- ✓ Una vez cocido el ladrillo, en su fase de enfriamiento, se produce una contracción altamente peligrosa al pasar por la temperatura de 250 a 200 ° C que, si es rápida, rompe las unidades. A partir de los 200 °C en el enfriamiento, por lo general, ya no hay peligro de rotura, de modo que su paso a la temperatura ambiente puede ser rápido.

De los puntos que acaba de mencionarse se deduce que la marcha del horno puede ir con RAPIDEZ cuando las unidades atraviesan las fases LENTAS. Pero aun conociendo estos hechos, no es tan fácil conseguir que en determinado momento la calefacción o enfriamiento vayan más rápidos o más lentos.

Para obtener una cocción rápida y lo más perfecta posible, es preciso en cada caso adaptarse a las circunstancias de todos los elementos que entran en la cocción, y como resulta difícil aplicarlos a todos los casos particulares, es preciso que el técnico en cocción conozca por lo menos los principios básicos de cada uno de dichos aspectos. Al conocerlos podrá tantear en la práctica lo más conveniente hasta dar con la solución que resolverá su caso particular. En todo caso, las características que debe presentar una buena cocción son las siguientes:

- ✓ Velocidad máxima en el calentamiento de la unidad
- ✓ Temperatura mínima de cocción en la fase de vitrificación (reblandecimiento de algunos componentes de la masa, que al compenetrarse y combinarse químicamente entre sí, dan al ladrillo la consistencia que adquiere después de cocido), para que se efectúe sin perjuicio de la forma de la unidad.
- ✓ Temperatura máxima de cocción en las fases donde existen fenómenos peligrosos por contracción brusca.

2.3.4. Tipos de unidades de albañilería

Existe una gran variedad de tipos de ladrillos de arcilla cocida, ya sea de producción industrial o artesanal.



Fig. 2.5 Algunos tipos de ladrillos de arcilla cocida (<http://blog.pucp.edu.pe>)

a) Clasificación según la Norma E.070 Albañilería

Clase	Variación de la dimensión (máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia a compresión, en Kg/cm ² , sobre área bruta.
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	50
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	70
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	95
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	130
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	180

Tipo	Zona Sísmica 2 y 3		Zona Sísmica 1
	Muro Portante en edificios de 4 pisos a más	Muro Portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro Portante en todo edificio
Sólido (*) Artesanal	No	Sí, hasta dos pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Si, celdas totalmente rellenas con grout	Si, celdas parcialmente rellenas con grout	Si, celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

* Definición 3.26 de la Norma E.070 (2006): Unidad de Albañilería sólida (ó maciza): Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.

b) Según otras clasificaciones (ref. 14)

- ✓ **Ladrillo Perforado**, que son todos aquéllos que tienen perforaciones en la cara de asiento que ocupen más del 10% de la superficie de la misma.
- ✓ **Ladrillo macizo**, aquéllos con menos de un 10% de perforaciones en la cara de asiento.
- ✓ **Ladrillo tejar o manual**, con apariencia tosca y caras rugosas
- ✓ **Ladrillo aplantillado**, que tiene un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, forma una moldura corrida.

- ✓ **Ladrillo hueco (tubular)**, con perforaciones en su largo o ancho (no en la cara de asiento), que reducen el volumen de material empleado, se usan en tabiquería.
- ✓ **Ladrillo caravista**, que se utilizan en exteriores con un acabado especial.
- ✓ **Ladrillo refractario**, se coloca en lugares donde debe soportar gran cantidad de calor, como hornos y chimeneas.

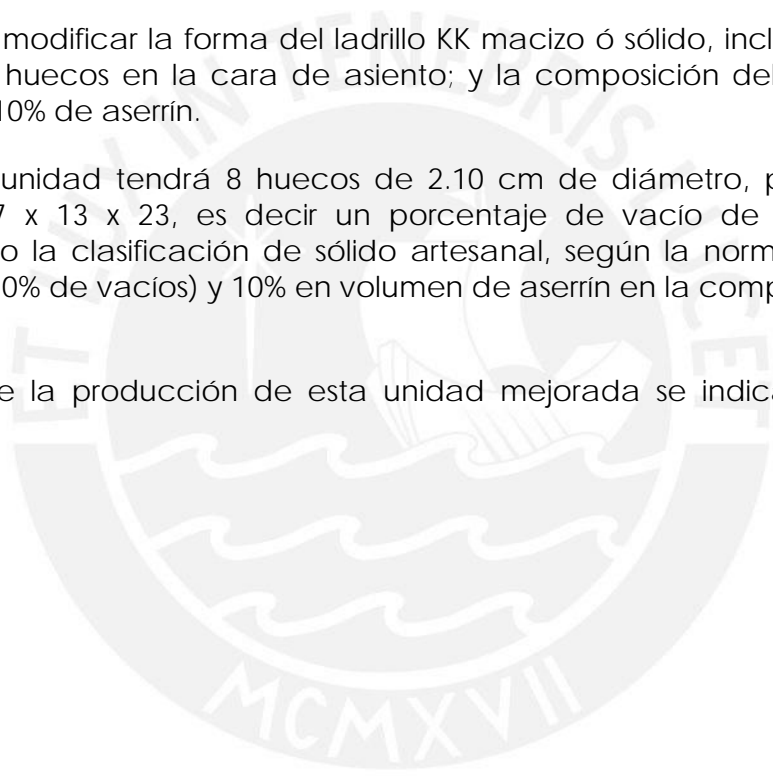
2.4. Unidades mejoradas con inclusión de aserrín y huecos

Tomando en cuenta que la producción de ladrillos de arcilla cocida, tiene en realidad más de arte que de ciencia, este trabajo propone modificar solo dos aspectos, teniendo cuidado de mantener la condición de producción artesanal.

Se propone modificar la forma del ladrillo KK macizo ó sólido, incluyendo aberturas ó huecos en la cara de asiento; y la composición del crudo, incluyendo 10% de aserrín.

Esta nueva unidad tendrá 8 huecos de 2.10 cm de diámetro, para un ladrillo de 7 x 13 x 23, es decir un porcentaje de vacío de 9.27 %, manteniendo la clasificación de sólido artesanal, según la norma E.070 (menos de 30% de vacíos) y 10% en volumen de aserrín en la composición del crudo.

El detalle de la producción de esta unidad mejorada se indica en el capítulo III.



CAPITULO III: METODOLOGÍA Y PREPARACION DE LADRILLOS MEJORADOS

3.1. Nivel de la Investigación y Tipos de Análisis

3.1.1. Nivel de Investigación

El nivel de la investigación es el explicativo, porque se establecieron relaciones causa efecto, con la finalidad de explicar el efecto que se genera mediante la aplicación de la hipótesis.

3.1.2. Tipo de Investigación

En cuanto a su finalidad, se caracteriza por ser una investigación aplicada, porque se interesa en solucionar problemas de carácter práctico a través de la formulación de una nueva composición del crudo (añadiendo un insumo) y diseño de una nueva forma para el ladrillo KK de producción artesanal, que permitan mejorar la calidad del mismo.

Atendiendo al tipo de investigación es **Experimental**, debido a que el estudio manipula la variable independiente para observar los resultados obtenidos en la variable dependiente, dentro de un ambiente que permita el control de las variables extrañas (los que intervienen en el procedimiento de fabricación artesanal, desde la obtención de la materia prima, moldeo, secado y cocción).

Por el énfasis en el manejo de los datos, es de tipo cuantitativo, ya que predomina la cuantificación de los resultados y el cálculo para explicar el comportamiento de la variable dependiente: calidad de ladrillo, aunque debemos indicar que también se utiliza el enfoque cualitativo para describir los rasgos característicos de la variable diseño del ladrillo.

3.2. Métodos de Investigación

- Método Descriptivo: Porque se ha tenido pleno conocimiento de las características de la variable dependiente, independiente e interviniente que son materia de investigación.
- Método Experimental: Porque se ha intervenido sobre el objeto de estudio, constituido por los ladrillos producidos artesanalmente, modificándolo a través de las variables independientes a través de un nuevo diseño y modificación de la composición de la materia prima; además se ha controlado la presencia de variables extrañas, ya que fue posible mantener el mismo sistema de producción, a fin de crear las condiciones necesarias que permitan revelar sus características fundamentales y sus relaciones esenciales con la variable dependiente observada y medida, que en este caso fueron la calidad de ladrillo.

3.3. Variables de Análisis

Variable Dependiente:

- ✓ Ladrillos KK artesanales de arcilla cocida mejorados

Variables Independientes:

- ✓ Forma de la unidad

Tradicionalmente se producen macizos, lo que no permite una buena cocción en el centro de la unidad. La propuesta es agregarle vacíos (huecos), para permitir la circulación de aire caliente y mejorar la cocción y como consecuencia su resistencia y durabilidad.

- ✓ Composición de la materia prima

Tradicionalmente contiene arcilla pura, limo y arena. Se propone agregar 10% en volumen de aserrín, para controlar las contracciones de secado.

3.4 Diseño de la Investigación

Por tratarse de una investigación experimental, se ha utilizado el Diseño de dos grupos experimentales con una sola medición Pos-test y un grupo de control.

GRUPO	Tratamiento	Observación
Control	-.-	O1
Experimental 1	X1	O1
Experimental 2	X1	O2

- ✓ El grupo de control, corresponde a la producción artesanal, siguiendo la técnica tradicional y quemados en el tercio intermedio del horno, denominado LOTE L3
- ✓ El grupo experimental, corresponde a la producción mejorada, con 8 huecos de 2.10 cm de diámetro, que representa un 9.67 % de vacíos y con 10% de aserrín, denominados LOTE 1 quemados en el tercio intermedio del horno y LOTE 2 quemados en el tercio superior del horno
- ✓ El tratamiento en la producción de los tres grupos es prácticamente siguiendo la misma técnica artesanal, la variación en los ladrillos mejorados está en la preparación del crudo (con inclusión de aserrín) y en el molde (con huecos). El resto del proceso, se mantiene para los tres grupos.

3.5 Técnicas e Instrumentos

A continuación se presenta un resumen de las técnicas y los instrumentos utilizados en cada una de las etapas del proceso de desarrollo de la investigación, tales como la recolección de la información, el proceso experimental y el análisis de los resultados obtenidos.

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Técnicas de Recolección de información	
Análisis de información relevante	Ficha bibliográfica
Análisis físico (textura del crudo)	Prueba del hidrómetro en laboratorio UNHEVAL
Descripción de las propiedades	Formato de ficha descriptiva
Análisis de resultados	
Resistencia a compresión de unidades	Del laboratorio de estructuras de la PUCP
Resistencia a compresión de pilas	
Resistencia a compresión diagonal de muretes	
Estadística Inferencial	Prueba de Hipótesis
Software	Excel, Word

3.6 Materiales e Instrumentos

Materiales

Los materiales utilizados en la investigación han sido los siguientes:

- Materia Prima: contiene 23% de arcilla pura, 37% de limo y 40 % de arena
- Aserrín (10% en volumen)
- Agua
- Leña para la cocción.

Instrumentos

- Molde o gavera tradicional para 04 ladrillos de 7 x 13 x 23 cm.
- Molde modificado con 8 vástagos para producir 4 ladrillos mejorados de 7 x 13 x 23 cm.
- Horno Intermitente tipo chimenea o de columna
- Máquina de ensayo que satisface los requerimientos de la ASTM E-4, del laboratorio de estructuras de la PUCP

3.7. Procedimientos

3.7.1. Proceso de obtención de ladrillos artesanales en la ciudad de Huánuco

3.7.1.1 Generalidades

La producción de ladrillos artesanales de arcilla cocida en la ciudad de Huánuco, comenzó aproximadamente en el año 1975. Posteriormente, conforme se incrementaba la demanda, se fueron estableciendo progresivamente varias ladrilleras, algunos fueron dejando de operar debido a la extinción de la materia prima.

Entre las más importantes podemos mencionar, las ladrilleras ROSALES, CHAPACUETE, MARTEL, PUELLES, CONDESUR, SANTACRUZ, MARTIN, LA ESPERANZA, MIRAFLORES y CESAR.

La técnica empleada es prácticamente la misma en todas las ladrilleras, y las que presentan producción prácticamente continua son MIRAFLORES y CHAPACUETE, con abundante materia prima. Existe una sola planta de producción semi-industrial (Ladrillera César), que hace el moldeo con extrusora (galletera) pero el quemado en hornos tipos chimenea.

En general el proceso de fabricación de las ladrilleras artesanales, es como sigue:

3.7.1.2 Obtención del Crudo

- ✓ Picado del material arcilloso en el mismo yacimiento, disgregación hasta dejarlo sin terrones ó grumos, en este proceso se elimina las piedras y todo material grueso. El proceso es manual, no usan mallas ó tamices (foto 3.1).



Fotografía N° 3.1: Material picado y crudo listo para moldeo

- ✓ Esta materia prima, se extiende dejando en la parte central superior una depresión de unos 20 cm., que se llena con agua (fig. 3.1), permaneciendo así 24 horas (un día y una noche).

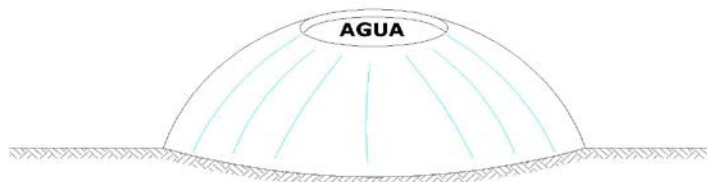


Fig. 3.1: posición inicial de humedecimiento

- ✓ Se vuelve a picar el material humedecido y se remueve dos veces (dos vueltas con lampas). En esta etapa se eliminan los grumos que hayan quedado, permanece así 12 horas más (una noche), fig.3.2.

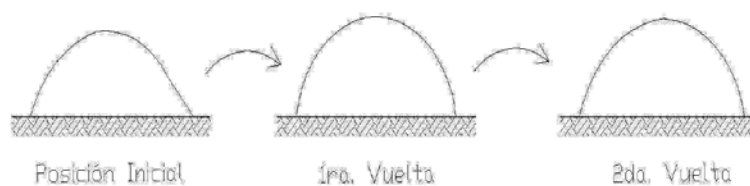


Fig. 3.2. Procedimiento de humectación

- ✓ Al día siguiente se remueve dos veces más (dos vueltas con lampas) y queda listo el crudo para el moldeo con las gabereras.

3.7.1.3 Moldeo

Como no podría ser de otra forma en la producción artesanal, el moldeo es manual, mediante moldes denominados gabereras, construidos en madera tratada con acabado liso (cepillado). Con cada molde se obtiene 4 ladrillos de 7x 13 x 23 cm. Su forma se indica en la fig. 3.3

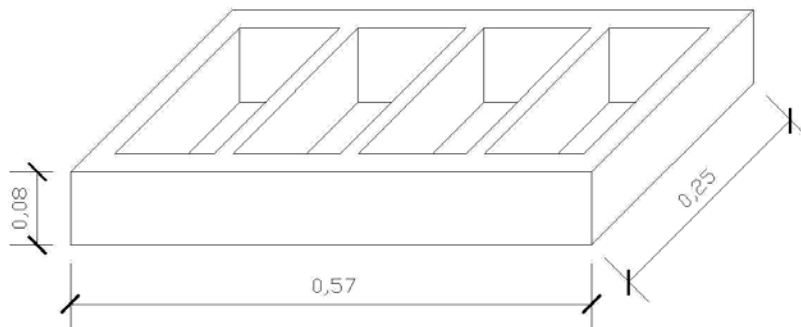


Fig. 3.3 Las gabereras son de madera cepillada

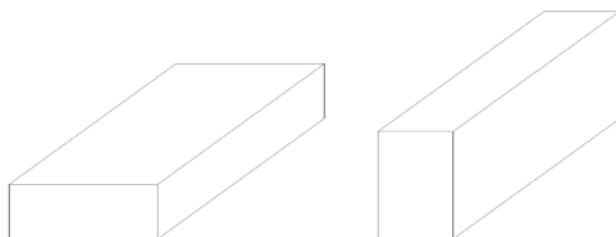
El proceso es el siguiente:

- ✓ Se sumerge la gaberera en agua hasta dejarla completamente húmeda, luego se impregna con arena fina. Esto sirve para "lubricar" el molde y facilitar el desprendimiento del crudo al momento del moldeo.
- ✓ Se introduce el crudo, previamente preparado, en la gaberera; en este proceso, se lanza porciones de crudo a su interior, dejando sobresalir una pequeña porción en la parte superior, que se enrasa luego mediante una regla de madera.
- ✓ Se traslada la gaberera al tendal, donde se da vuelta al molde y con un pequeño impulso se desprenden las unidades.
- ✓ Se repite el proceso, lubricando nuevamente la gaberera.

3.7.1.4 Secado

Los secaderos son al aire libre, en el mismo tendal donde se colocaron al moldearlos, con el siguiente procedimiento:

- ✓ Terminada una jornada de trabajo, los ladrillos moldeados se colocan de canto (fig. 3.4, foto 3.2). En el tendal permanecen 48 horas en verano y de 4 a 5 días en invierno.



En el moldeo

Durante el secado

Fig. 3.4: posiciones del ladrillo en el moldeo y secado



Fotografía N° 3.2: Disponiendo las unidades de canto, luego del moldeo

- ✓ En el proceso de cambiar la posición para el secado, se perfilan las caras eliminando los materiales extraños que se hayan impregnado (terrones, grumos, etc.). Se utilizan para ello una herramienta conocida como azada. En muchos casos este proceso no lo realizan esperando que se desprenda en la cocción.



Fotografía N° 3.3: Ladrillos dispuestos de canto y en rumas

- ✓ Los ladrillos en el tendal se apilan en rumas de 10 a 12 unidades de alto y de longitud variable. Las unidades se disponen dejando un espacio suficiente entre ellos para la circulación libre del aire (foto 3.3).
- ✓ La ultima ruma para completar una hornada, permanece por lo menos 7 días expuestos al sol, antes de iniciar el carguío en el horno.

3.7.1.5 Cocción

Como combustible se emplea leña y llantas usadas de caucho.

Un horno tipo chimenea, para 25 millares de ladrillo KK de 13x23x7, se muestra en las fotografías: 3.4, 3.5 y 3.6

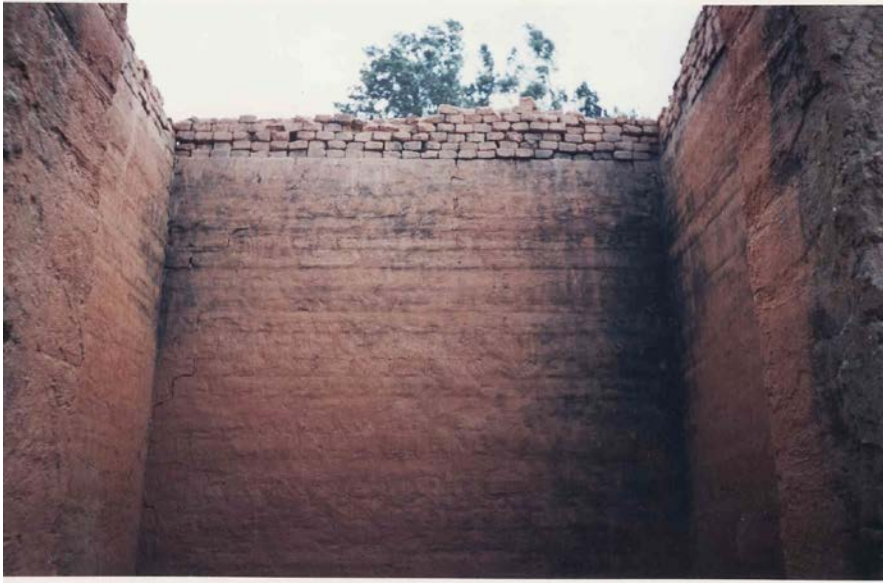


Fotografía N° 3.4: Parte Posterior del horno, se aprecia tres hogares y las tres partes diferenciadas del horno: inferior, intermedia y superior.



Fotografía N° 3.5: Parte delantera del horno, desde esta posición solo se observa la parte intermedia y superior y es por donde se efectúa el carguío.

I



Fotografía N° 3.6: Interior del Horno, antes del carguío.

El Proceso de carga y quemado es como sigue:

- ✓ El carguío se efectúa colocando en la parte inferior del horno, las primeras rumas de ladrillo (más secos) y en la parte superior, las rumas más frescas, con la finalidad de completar su secado, antes de la cocción.
- ✓ Se dejan túneles (hogares) para la colocación del combustible. Estos hogares tienen techos en forma de bóveda, obtenidos por la disposición de los propios ladrillos a quemar. Las cuatro primeras hiladas son verticales, las siguientes seis van saliendo progresivamente hasta formar la bóveda (fig.3.5 y fotos 3.7 y 3.8).

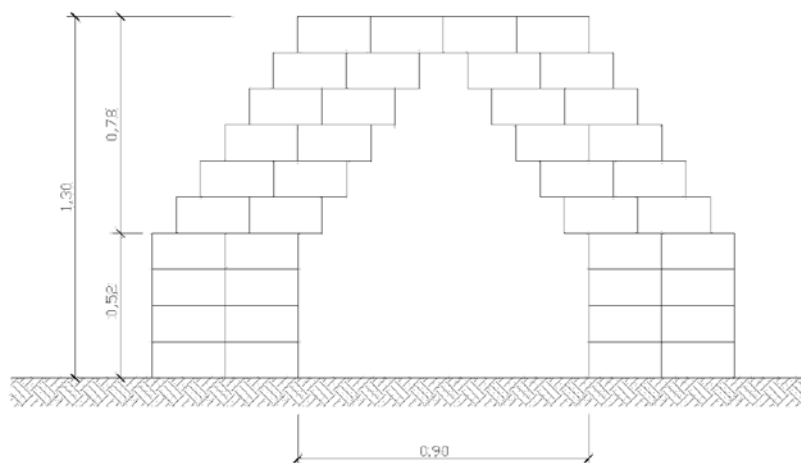


Fig. N° 3.5: forma de bóveda al interior del horno (hogar)



Fotografía N^o 3.7:
Vista interior de uno de los hogares, obsérvese la disposición de ladrillos formando una bóveda.



Fotografía N^o 3.8:
Vista de los hogares, por fuera.

- ✓ Los ladrillos en el horno tienen una separación promedio de 1 cm entre ellos, lo que permite la circulación de las llamas ó aire caliente (foto 3.9).



Fotografía N^o 3.9:
Puerta de carga del horno, obsérvese la separación de ladrillos para permitir la circulación del aire caliente.

- ✓ Completado el carguío se tapa la puerta del horno asentando ladrillos con barro, la parte superior queda libre (funciona como chimenea, foto 3.10).



Fotografía N° 3.10: Puerta de descarga del horno, libre antes de iniciar el quemado.

- ✓ Se enciende el combustible y se inspecciona el techo del horno, conforme empiece a salir el fuego, se van tapando las salidas con barro de arcilla, dejando libres las cuatro esquinas, como se ilustra en la fig. 3.6, foto 3.11

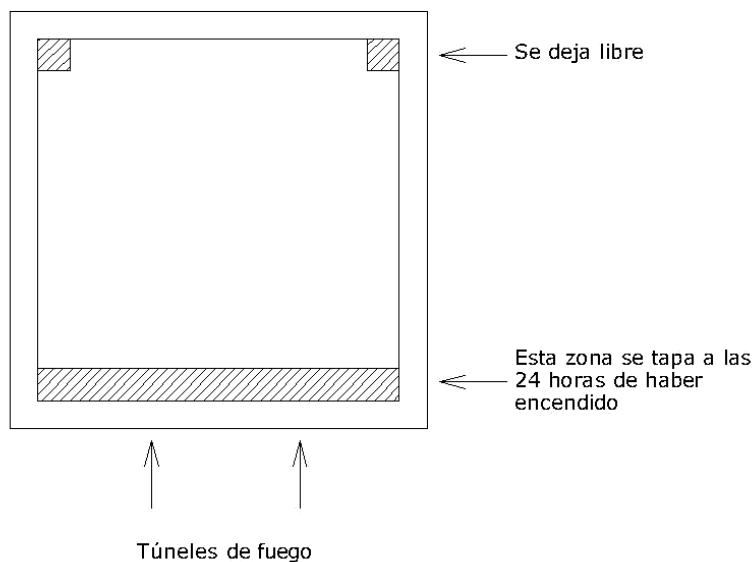


Fig. N° 3.6: Techo del Horno



Fotografía N° 3.11: Proceso de cocción de un horno intermitente, tipo chimenea

- ✓ El tiempo para llegar a la cocción total es de 50 a 60 horas, concluido este período, se destapa el techo y la puerta de descarga, enfriando de 2 a 3 días.
- ✓ A continuación se descarga y almacena en rumas de 30 ladrillos de altura (H=2.10 mts.) y los ladrillos producidos quedan listos para la venta (foto 3.12).



Fotografía N° 3.12: Ruma de ladrillo luego del quemado y listo para venta. Obsérvese la diferente coloración que refleja distintos grados de cocción

3.7.2. Proceso de elaboración de las unidades mejoradas con inclusión de aserrín en la masa y huecos en la forma

3.7.2.1 Alcances

Las propuestas que se indican aquí están orientadas a mejorar la calidad de los ladrillos de arcilla cocida producidos en forma artesanal. No se pretende mecanizar o llegar a industrializar las instalaciones, sino más bien, manteniendo el sistema artesanal, lograr un mejor producto.

Pretender mecanizarlo, involucra grandes inversiones de capital que necesita un estudio de mercado y por otra parte no está al alcance de quienes vienen produciendo artesanalmente. La demanda es tal cual por sus bajos costos de producción.

Por otro lado, conforme a lo señalado en el capítulo II, sabemos que para lograr un buen producto se requiere una correcta concordancia de las distintas fases de producción: preparación de la materia prima, moldeo, secado y cocción. Por ello, para lograr mejoras en su calidad, debe estudiarse cada modificación que se pretenda llevar a cabo, teniendo cuidado de no alterar bruscamente el sistema que se viene empleando.

Ahora bien, los principales defectos que podemos advertir en los ladrillos artesanales producidos en la ciudad de Huánuco son, la cocción muy diferenciada entre los ladrillos ubicados en la parte central y superior del horno, así como grietas originadas por contracciones de secado. En tal sentido las propuestas que planteamos están orientadas a controlar las contracciones de secado (con inclusión de 10% de aserrín en la composición del crudo) así como a uniformizar el grado de cocción (con inclusión de vacíos o huecos en la cara de asiento manteniendo el moldeo manual).

3.7.2.2 En la materia Prima

La materia prima empleada actualmente (seleccionada en base a la experiencia) cumple con los requisitos mínimos que se exige para obtener buenos productos.

El estudio de textura por el método del hidrómetro, sobre una muestra de crudo, efectuado en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, reveló un contenido de 23% de arcilla pura, 37 % de limo y 40% de arena.

Esta composición está muy cercana a la recomendación de que la arcilla pura debe estar entre el 25 al 75% del total del crudo y por lo menos un 30% de arena para el control del agrietamiento (Robusté, 1969).

A este tipo de crudo, que catalogamos como adecuado, le añadiremos 10% en volumen de aserrín con la finalidad de controlar las deformaciones de secado y además para disponerlo mejor para la cocción final.

En la etapa de preparación del crudo se añadirá el aserrín, que al humedecerse aumentará de volumen. Una vez moldeado y en el proceso de secado, el aserrín se contraerá dejando vacíos interiores en las unidades, lo que facilitará la contracción de la arcilla, controlando la formación de fisuras por este concepto.

En la etapa de cocción, al llegar a los 550 °C, arderán las partículas de aserrín, calentando al ladrillo y disponiéndolo mejor para la cocción final.

En cuanto a la disponibilidad del aserrín, éste es un material de desecho, que se obtiene fácilmente y a costos bajísimos, siendo viable emplearlo en la producción de ladrillo; y como alternativa se podría utilizar también partículas vegetales, como cáscaras de arroz, trigo, etc.

3.7.2.3 En el moldeo

En este trabajo se propone un nuevo molde (gabera), para producir 4 unidades a la vez, incluyendo huecos en la cara de asiento de cada ladrillo. Luego de una serie de pruebas con distintos moldes, se obtuvo uno con 8 agujeros, con el que se puede moldear manualmente, tal como se hace con los ladrillos macizos.

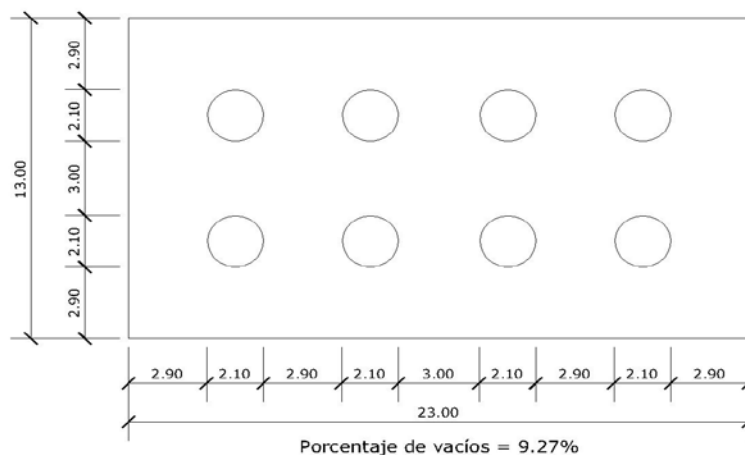
El nuevo molde está constituido por dos piezas: el fondo y la caja que define la forma rectangular de las 4 unidades. En la pieza del fondo se fija los vástagos para generar los huecos en la cara de asiento de la unidad moldeada.

Durante el moldeo, primero se desprenderá la pieza del fondo (foto 3.15) y luego la caja. Durante este proceso, la forma ligeramente tronco cónica de los vástagos facilitan el desprendimiento del crudo y dan forma a los agujeros en la cara de asiento de las unidades.

Cabe precisar que para el moldeo a mano, la masa es más plástica (con mayor contenido de agua) que para el moldeo mecanizado con extrusora (solo húmedo). Por ello, el espesor de las paredes alrededor de los agujeros debe ser como mínimo de 1", caso contrario se "chorrean" las unidades moldeadas (foto 3.13 y fig.3.7).



Fotografía N° 3.13:
Gabera para 04
ladrillos de 7x13x23
cm., con 8
perforaciones,
9.27% de vacíos.



MOLDE PROPUESTO

Fig. N° 3.7

3.7.2.4 En la cocción

Para los fines de esta investigación experimental no hicimos ninguna modificación al proceso de quema ó cocción empleada artesanalmente en hornos tipo chimenea. Es más nuestras unidades modificadas, se quemaron como parte de una hornada común de 25 millares.

Cabe dejar en esta parte una línea futura de investigación, tendiente a mejorar la capacidad del horno tipo chimenea, basado en la experiencia española. Ellos incluyen un "alma" de arena dentro de los muros perimetrales del horno, lo que mantiene el calor en el interior del mismo y no permite que se enfríe rápidamente.

3.7.2.5 Producción de Ladrillos con fines de ensayo

Con la finalidad de evaluar la calidad de los ladrillos obtenidos con las modificaciones propuestas se han producido la siguiente cantidad de ladrillos:

- ✓ 90 unidades tal y conforme se produce actualmente.
- ✓ 180 unidades con las modificaciones ya planteadas, para ser cocidos en la parte intermedia (90 unidades) y en la parte superior (90 unidades) del horno.
- ✓ La secuencia de producción se indica en las fotos 3.14 al 3.22:



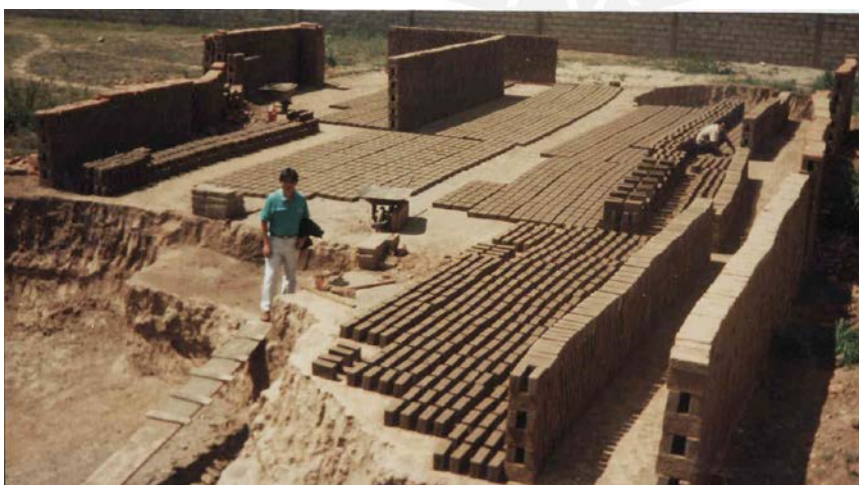
Fotografía N° 3.14: Crudo y moldeo de unidades mejoradas



Fotografía N° 3.15: Moldeo de unidades y ubicación en tendal. Obsérvese que el desmolde se hace en dos etapas, primero se desprende el fondo con los vástagos y luego las paredes.



Fotografía N° 3.16: Disposición de ladrillos en rumas, para culminar el proceso de secado al aire libre.



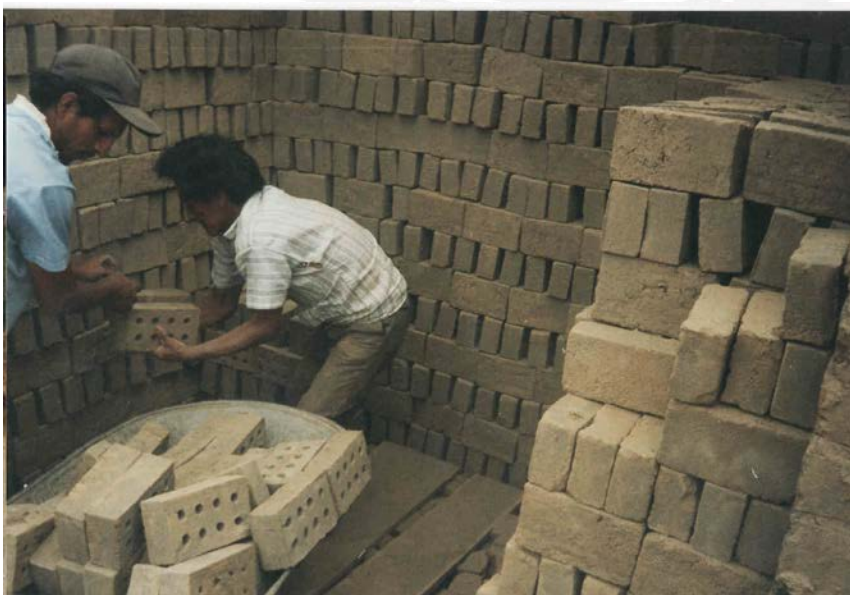
Fotografía N° 3.17: Yacimiento de arcilla, tendal al aire libre y rumas de ladrillos de producción artesanal que se quemaran en la misma hornada con nuestros ladrillos mejorados



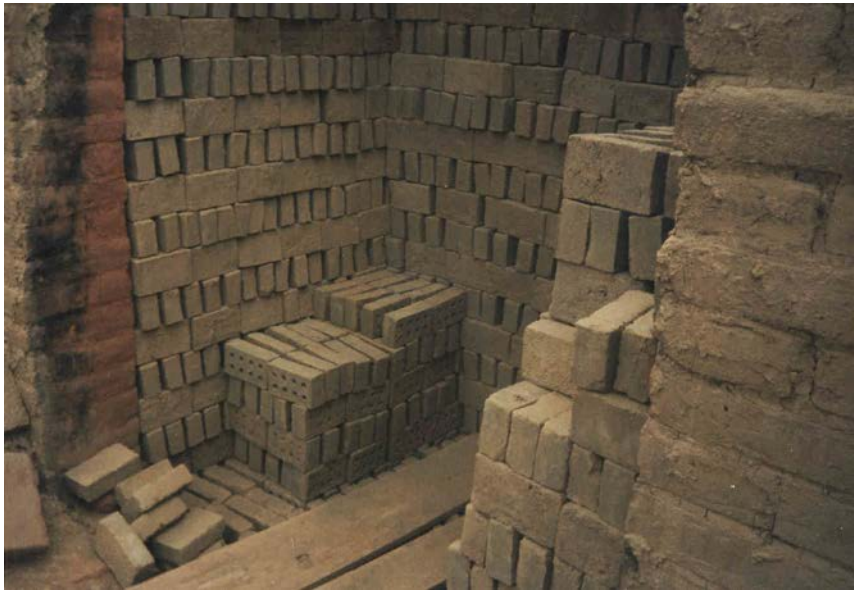
Fotografía N^o 3.18: Horno de tres hogares, con capacidad para 25 millares de ladrillos KK 7x13x23, donde se quemaran nuestras unidades mejoradas



Fotografía N^o 3.19: Carguío del horno, con las unidades artesanales, tipo KK macizo



Fotografía N^o 3.20: Colocación de los ladrillos mejorados en la parte intermedia del horno. Nótese que la inclusión del aserrín ayudó a controlar las contracciones de secado.

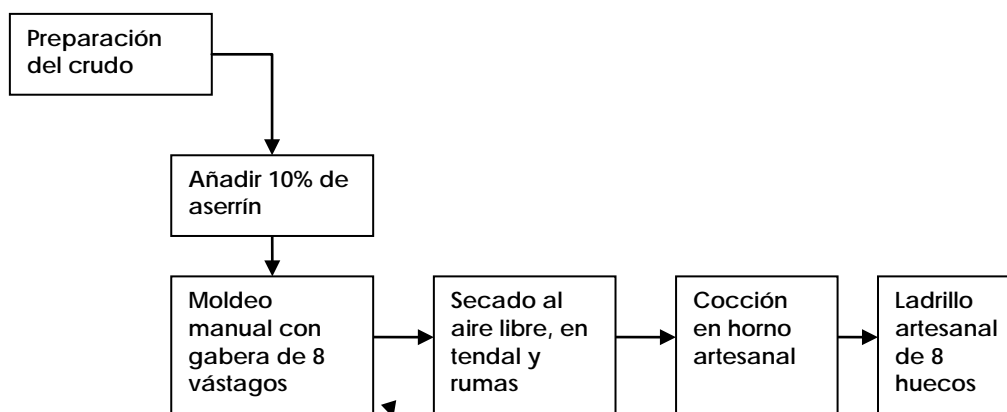


Fotografía N^o 3.21: Disposición de ladrillos mejorados en su posición final, en la parte intermedia (lote 1).



Fotografía N^o 3.22: Disposición de ladrillos mejorados en la parte superior del horno (Lote 2)

FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL LADRILLO ARTESANAL de 08 huecos



CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Organización de los Ensayos

En función a las sugerencias planteadas en el capítulo II y de acuerdo con la Norma E.070, hemos establecido 03 lotes de ladrillos. Para cada uno de ellos se realizarán ensayos en la unidad, pilas (prismas) y muretes.

El lote denominado L3, corresponde a la producción artesanal común, maciza sin huecos, cocida en la parte intermedia del horno; los dos lotes restantes, denominados L1 y L2, son los producidos con las modificaciones planteadas, quemadas en la parte intermedia y superior del horno. Recalamos el hecho de que los tres lotes, fueron quemados en una sola hornada y como parte de un conjunto de 25 millares.

A excepción del ensayo sobre la materia prima, que se realizó en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, los demás ensayos (unidad, pilas y muretes) se realizaron en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, estos corresponden a las siguientes normas:

- ✓ Resistencia a la compresión, de las unidades, de conformidad con las normas INDECOPI NTP399.613 y 339.604
- ✓ Resistencia de la albañilería a compresión axial, de prismas o pilas, de conformidad con la norma INDECOPI NTP 399.605
- ✓ Resistencia a compresión diagonal de la albañilería, tomada sobre muretes, de conformidad con la norma INDECOPI NTP 399.621

4.2. Resultados Obtenidos

4.2.1 Pruebas sobre la materia prima

Se obtuvo una muestra de crudo que estuvo lista para moldeo y se analizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

El ensayo de textura, para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla, se realizó por el método del hidrómetro, reveló un contenido de 23% de arcilla pura, 37 % de limo y 40% de arena (fotos 4.1 y 4.2).

Esta composición está muy cercana a la recomendación de que la arcilla pura debe estar entre el 25 al 70% del total del crudo y por lo menos un 30% de arena para el control del agrietamiento (Robusté, 1969).



Fotografía N° 4.1: Preparación del crudo para realizar el ensayo de textura con el hidrómetro.



Fotografía N° 4.2: Ensayo de textura con hidrómetro.

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN DE HUANUCO

Av. Universitaria S/N

Teléfono 062 518385

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 AREA DEL SERVICIO DE ANALISIS DE SUELOS
 LABORATORIO DE SUELOS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS

Nombre: Wilson Arquíñigo Trujillo

Fecha : 05.09.1995

Lugar : Huánuco

Recibo N° 58492

N° de muestra		Análisis Mecánico (%)			Clase Textural	PH	Calcareo	M.O.	N	Elemento disponible		C.I.C	Bases Cambiables				Otros
Lab.	Campo	Arena	Limo	Arcilla						P	K2O		Ca++	Mg++	K+	Na+	
						1:1	%	%	%	ppm	Kg/ha	me/100g					
10	1	40	37	23	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	---	---	-----	-----

OBSERVACIONES: Sólo Textura

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN, HUANUCO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 AREA DEL SERVICIO DE ANALISIS DE SUELOS
 LABORATORIO DE SUELOS Y FERTILIZANTES

Des de Moyo N° 680
 Teléfono N° 2340
 Apartado N° 278
 HUANUCO


Nombre: Wilson Arquíñigo Trujillo
 Lugar: Huánuco
 Altitud: _____

(CAYHUAYNA)
ANALISIS DE SUELOS

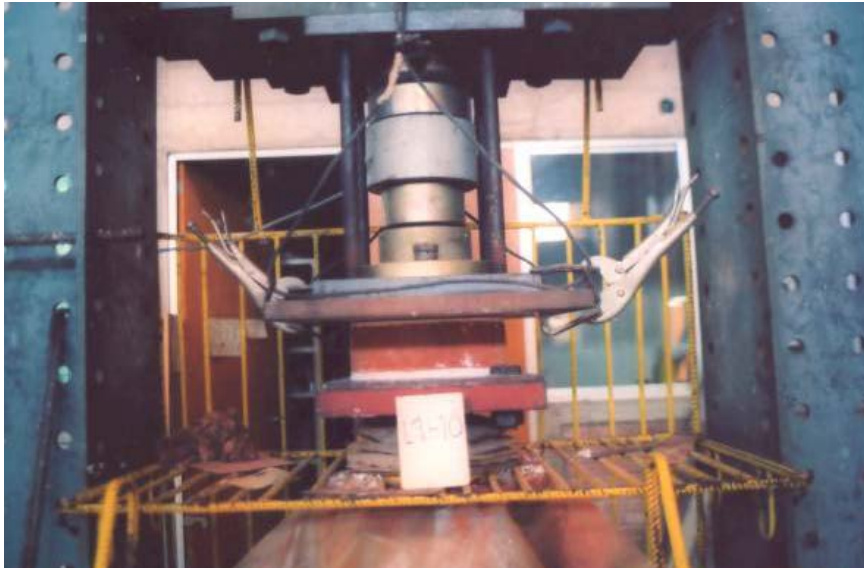
Fecha: 05.09.95
 F.A N°: 07-25
 Recibo N° 58492

N° DE MUESTRA	ANALISIS MECANICA			CLASE TEXTURAL	PH	CALCAREO	M.O.	N	ELEM. DISPONIB.		C.I.C	BASES CAMBIABLES				OTROS
	ARENA	LIMO	ARCILLA						P	K2O		Ca++	Mg++	K+	Na+	
Labo- ratorio	%	%	%		1:1	%	%	%	p.p.m.	Kg/ha	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	
10	61	40,40	37,00	23,60	Fanco											

OBSERVACIONES: Sólo Textura.

 [Signature]
 JEFE DEL AREA DEL SERVICIO DE ANALISIS DE SUELOS

4.2.2 Resistencia a compresión de la unidad de albañilería



Fotografía N° 4.3: Ensayo típico de compresión de las unidades enteras, en este caso corresponde a la muestra 10 del Lote 1 (ladrillos mejorados cocidos en la parte intermedia del horno).

El Número de Muestras fue de 10 unidades por cada lote de ladrillos. Un total de 30 unidades ensayadas. En la foto 4.4 se muestra las unidades enteras preparadas y listas para someterlas a ensayo de compresión.



Fotografía N° 4.4: Unidades enteras refrentadas (capping) en las caras que estarán en contacto con los cabezales metálicos del equipo de ensayo.

El procedimiento de ensayo fue conforme al numeral 8, de la Norma Técnica Peruana NTP 399.613 – 2005. Sin embargo indicamos aquí algunos detalles del ensayo efectuado en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El numeral 8.1.1. de la Norma NTP 399.613, establece en su primer párrafo que se ensayaran medias unidades secas, pero su último párrafo señala: "Eventualmente se podrá utilizar para el ensayo de compresión, unidades enteras, en cuyo caso deberá efectuarse la corrección en el valor promedio de resistencia, mediante un coeficiente que responde a la

correlación obtenida en investigaciones de laboratorio". Estos coeficientes se detallan en el anexo A de la referida norma, que se reproduce a continuación:

$$R_{ue} = 0.92 \times R_{mu}$$

Donde:

R_{ue}: resistencia a la compresión en unidad entera

R_{mu}: resistencia a la compresión en media unidad

Nuestros ensayos se hicieron en unidades enteras, por lo que usaremos el coeficiente de corrección antes indicado.

Se aplicó la carga con una velocidad de 5 a 10 Tn./min.

La resistencia a compresión del ladrillo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$f_b = P/A$$

Donde:

f_b = Resistencia a compresión del ladrillo en Kg/cm².

P = carga de rotura aplicada, indicada por la máquina

A = Área bruta del ladrillo macizo ó sólido.

Se indica como resistencia a la compresión del lote de ladrillos (f'_b) al promedio de los valores obtenidos para cada muestra menos una desviación estándar (numeral 5.4 inciso b, norma E-070).

$$f'_b = f_{b\text{ prom}} - \sigma$$

f_{b prom} = resistencia a compresión promedio = $\sum f_b / n$

σ = Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{(\sum (f_{bi} - f_{b\text{ prom}})^2 / (n-1))}$$

n = número de muestras

ENSAYO A COMPRESION DE UNIDADES – Lote L1						
Identificación		Lectura del equipo			Esfuerzo compresión (fb_i en Kg/cm²)	(fbi- fb)²
Lote	muestra	cm	V	Tn		
L1 Mejorados y quemados en la parte intermedia del horno	1	12.04	3.01	30.1	109	17582.76
	2	27.36	6.84	68.4	249	54.76
	3	18.92	4.73	47.3	172	4844.16
	4	27.4	6.85	68.5	249	54.76
	5	26.28	6.57	65.7	239	6.76
	6	21.38	10.69	106.9	389	21726.76
	7	19.86	9.93	99.3	361	14256.36
	8	10.62	5.31	53.1	193	2361.96
	9	19.3	9.65	96.5	351	11968.36
	10	5.72	2.86	28.6	104	18922.76
Resistencia promedio f _{b prom}					241.6	91790.40
σ = √(∑(fbi - f _{b prom}) ² / (n-1))						100.99
Resistencia característica (f'b , en Kg/cm ²)						140
Resistencia característica (f'b , en MPa)						14



Foto N° 4.5: Muestra N° 10 del lote de ladrillos mejorados y cocidos en la parte intermedia del horno. Se observa falla por aplastamiento a lo largo de toda la unidad

ENSAYO A COMPRESION DE UNIDADES – Lote L2						
Identificación		Lectura del equipo			Esfuerzo compresión (f_{bi} en Kg/cm ²)	$(f_{bi} - f_b)^2$
Lote	muestra	cm	V	Tn		
L2 Mejorados y quemados en la parte superior del horno	1	3.56	1.779	17.79	65	1489.96
	2	7.93	3.967	39.67	144	1632.16
	3	3.36	1.681	16.81	61	1814.76
	4	6.15	3.074	30.74	112	70.56
	5	5.73	2.866	28.66	104	0.16
	6	6.86	3.428	34.28	125	457.96
	7	3.5	1.748	17.48	64	1568.16
	8	6	3.001	30.01	109	29.16
	9	5.47	2.735	27.35	99	21.16
	10	8.42	4.21	42.1	153	2440.36
Resistencia promedio $f_{b\text{prom}}$					103.60	9524.40
$\sigma = \sqrt{(\sum (f_{bi} - f_{b\text{prom}})^2 / (n-1))}$						32.53
Resistencia característica (f'_b , en Kg/cm ²)						70
Resistencia característica (f'_b , en MPa)						7



Foto N° 4.6: Muestra N° 10 de lote de ladrillos mejorados y cocidos en el tercio superior del horno. Se observa falla por aplastamiento a lo largo de toda la unidad.

ENSAYO A COMPRESION DE UNIDADES – Lote L3						
Identificación		Lectura del equipo			Esfuerzo compresión (fb _i en Kg/cm ²)	(f _{bi} - f _b) ²
Lote	muestra	cm	V	Tn		
L3 Tradicional y quemados en la parte intermedia del horno	1	4.62	1.154	11.54	42	6.25
	2	5.10	1.274	12.74	46	2.25
	3	5.09	1.273	12.73	46	2.25
	4	4.98	1.245	12.45	45	0.25
	5	4.86	1.214	12.14	44	0.25
	6	4.99	1.247	12.47	45	0.25
	7	5.30	1.325	13.25	48	12.25
	8	5.05	1.262	12.62	46	2.25
	9	4.62	1.156	11.56	42	6.25
	10	4.52	1.13	11.3	41	12.25
Resistencia promedio f _{b prom}					44.5	44.5
$\sigma = \sqrt{(\sum(f_{bi} - f_{b \text{ prom}})^2 / (n-1))}$						2.22
Resistencia característica (f'b , en Kg/cm ²)						42
Resistencia característica (f'b , en MPa)						4



Foto N° 4.7: Muestra N° 3 del lote de ladrillos artesanales sin mejoras, cocido en la parte intermedia del horno. Se observa falla en uno de los extremos, zona más débil

4.2.3 Resistencia a compresión axial en Prismas o Pilas



Fotografía N°4.8: Ensayo típico compresión axial en prismas, en este caso corresponde a la muestra 2 del Lote 1 (Ladrillos mejorados y cocidos en el tercio intermedio de horno).

El Número de especímenes fue de 5 prismas por cada lote de ladrillos. Un total de 15 especímenes ensayados.

El procedimiento de ensayo fue conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 399.605 – 2003. Sin embargo indicamos aquí algunos detalles del ensayo efectuado en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú (fig. 4.1).

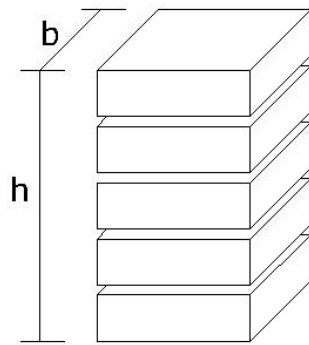


FIG. 4.1: Dimensiones de prismas

Cada prisma consta de 5 hiladas, con las siguientes características.

- o Espesor de juntas = 1.5 cm.
- o Valores nominales de h y b
$$h = 5 \times 7 + 4 \times 1.5 = 41 \text{ cm}$$
$$b = 13 \text{ cm.}$$
- o Esbeltez, $h/b = 3$

- o Edad del prisma a la fecha de ensayo = 28 días
- o Velocidad de ensayo a compresión axial = 1.2 mm/ min
- o Tratamiento de la unidad para construir las pilas: por riego 1 día antes del asentado y también por riego 1 hora antes de asentarlas.
- o Tratamiento del prisma: por riego desde el día siguiente de haberse construido y durante tres días, manteniéndolos con humedad permanente (tres veces por día).

Expresión de resultados

$$f_{mi} = ac(P_r/P_a)$$

f_{mi} = resistencia del prisma "i"

P_r = carga de rotura en Kg.

P_a = área cargada en cm².

a = coeficiente que toma en cuenta la edad del prisma en el momento del ensayo (Tabla 8, Norma E.070).

Tabla 8 Incremento de f'_m y ν'_m por edad			
Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla	1.15	1.05
	Bloques de concreto	1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de arcilla y bloques de concreto	1.10	1.00

Para nuestro caso a=1.00, por ensayar a una edad de 28 días
C= Factor de corrección por esbeltez del prisma (Tabla 10, Norma E.070).

Tabla 10 Factores de corrección de f'_m por esbeltez						
Esbeltez	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5.0
Factor	0,73	0,80	0,91	0,95	0,98	1,00

Para nuestro caso, c=0,91

Los resultados por cada lote de ladrillos, se obtuvieron como se indica en el numeral 13.7 de la norma E.070:

$$f'_m = (f_{prom} - \sigma)$$

$$f_{prom} = \text{promedio de resistencia de las pilas} = (\sum f_{mi})/n$$

σ = desviación estándar de las pruebas.

$$\sigma = \sqrt{(\sum (f_{mi} - f_{prom})^2 / (n-1))}$$

f_{mi} = resistencia a compresión del prisma i

ENSAYO A COMPRESION DE PRISMAS – Lote 1						
Identificación		LVDT IZQUIERDO	LVDT. DERECHO	Carga promedio Tn	Esfuerzo en Compresión (f _{mi} en Kg/cm ²)	(f _{mi} - f _m) ²
Lote	espécimen	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L1 Mejorados y quemados en la parte intermedia del horno	1	11.31	11.31	11.31	34	96.04
	2	12.64	12.54	12.59	38	33.64
	3	15.80	15.20	15.50	47	10.24
	4	16.00	16.00	16.00	49	27.04
	5	16.60	16.60	16.60	51	51.84
Resistencia promedio f _{prom}					43.8	218.80
$\sigma = \sqrt{(\sum (f_{mi} - f_{prom})^2 / (n-1))}$						7.40
Resistencia característica (f _m , en Kg/cm ²)						36
Resistencia característica (f _m , en Mpa)						3.5



Foto N° 4.9: Muestra 1 del Lote de ladrillos mejorados y cocidos en el tercio intermedio del horno. Se observa agrietamiento vertical cerca de la cara de menor dimensión, cortando unidades y mortero.

Foto N° 4.10: Muestra 3 del Lote de ladrillos mejorados y cocidos en el tercio superior del horno. Se observa agrietamiento vertical en la cara de mayor dimensión, cortando unidades y mortero.



ENSAYO A COMPRESION DE PRISMAS – Lote 2						
Identificación		LVDT IZQUIERDO	LVDT. DERECHO	Carga promedio Tn	Esfuerzo en Compresión (f _{mi} en Kg/cm ²)	(f _{mi} - f _m) ²
Lote	espécimen	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L2 Mejorados y quemados en la parte superior del horno	1	12.00	12.00	12.00	37	1.44
	2	12.40	12.40	12.40	38	0.04
	3	12.40	12.40	12.40	38	0.04
	4	12.60	12.80	12.70	39	0.64
	5	12.60	12.80	12.70	39	0.64
Resistencia promedio f _{prom}					38.20	2.80
$\sigma = \sqrt{(\sum(f_{mi} - f_{prom})^2)/(n-1)}$						0.84
Resistencia característica (f' _m , en Kg/cm ²)						37
Resistencia característica (f' _m , en Mpa)						3.6

ENSAYO A COMPRESION DE PRISMAS – Lote 3						
Identificación		LVDT IZQUIERDO	LVDT. DERECHO	Carga promedio Tn	Esfuerzo en Compresión (f _{mi} en Kg/cm ²)	(f _{mi} - f _m) ²
Lote	espécimen	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L3 Tradicional y quemados en la parte intermedia del horno	1	6	6.40	6.20	19	10.24
	2	6.60	6.70	6.65	20	4.84
	3	8.2	8.40	8.30	25	7.84
	4	7.2	7.00	7.10	22	0.04
	5	8	8.10	8.05	8.05	25
Resistencia promedio f _{prom}					22.20	30.08
$\sigma = \sqrt{(\sum(f_{mi} - f_{prom})^2)/(n-1)}$						2.77
Resistencia característica (f' _m , en Kg/cm ²)						19
Resistencia característica (f' _m , en Mpa)						1.9



Foto N° 4.11: Muestra 1 del Lote de ladrillos artesanales sin mejorar y

cocidos en el tercio intermedio del horno. Se observa fallas localizadas por aplastamiento de algunas unidades.



Foto N° 4.11: Muestra 1 del Lote de ladrillos artesanales sin mejorar y

4.2.4 Módulo de Elasticidad (E_m)

Los resultados de los ensayos reportan deformaciones tomados con dos LVDT por cada prisma, a partir de éstos valores y tomando los datos del segmento lineal de los gráficos (Anexos N° 01 y 02), podemos plantear la siguiente expresión para el cálculo del Módulo de Elasticidad.

$\delta = PL/E_m A$, de aquí $E_m = PL/\delta A$, donde:

δ = deformación registrada por cada LVDT

L = longitud entre bases del LVDT, para nuestro caso = 18 cm

A = área de la sección transversal del prisma = $13 \times 23 = 299 \text{ cm}^2$

P = carga obtenida del gráfico.

Con estas expresiones se obtienen los siguientes resultados:

Módulo de Elasticidad - Lote 1								
Identificación		LVDT IZQUIERDO			LVDT. DERECHO			E_{prom} (Kg/cm ²)
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	
L1 Mejorados y quemados en la parte intermedia del horno	1	11.31	0.165	41264.82	11.31	0.25	27234.78	34000
	2	12.64	0.125	60874.92	12.54	0.30	25163.88	43000
	3	15.80	0.10	95117.06	15.20	0.21	44636.59	69000
	4	16.00	0.185	52065.44	16.00	0.235	40987.69	46000
	5	16.60	0.15	66622.07	16.60	0.3275	30513.93	48000
Módulo de Elasticidad de la muestra E_m (Kg/cm ²)								48000

Módulo de Elasticidad - Lote 2								
Identificación		LVDT IZQUIERDO			LVDT. DERECHO			E_{prom} (Kg/cm ²)
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	
L2 Mejorados y quemados en la parte superior del horno	1	12.00	0.3875	18642.79	12.00	0.42	17200.19	17000
	2	12.40	0.35	21328.24	12.40	0.335	22283.23	21000
	3	12.40	0.3675	20312.61	12.40	0.32	23327.76	21000
	4	12.60	0.235	32277.81	12.80	0.37	20826.18	26000
	5	12.60	0.585	12966.3	12.80	0.3275	23528.81	18000
Módulo de Elasticidad de la muestra E_m (Kg/cm ²)								20000

Módulo de Elasticidad - Lote 3								
Identificación		LVDT IZQUIERDO			LVDT. DERECHO			E_{prom} (Kg/cm ²)
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	Carga (Tn)	Deform. (mm)	E_m (Kg/cm ²)	
L3 Tradicional y quemados en la parte intermedia del horno	1	6	0.705	5123.46	6.40	0.60	6421.4	5700
	2	6.60	0.74	5369.25	6.70	0.89	4531.96	4900
	3	8.2	0.65	7594.55	8.40	0.585	8644.2	8100
	4	7.2	0.715	6062.17	7.00	0.565	7458.49	6700
	5	8	0.79	6135.1	8.10	0.435	11209.78	8600
Módulo de Elasticidad de la muestra E_m (Kg/cm ²)								6800

4.2.5 Resistencia a compresión diagonal en muretes



Fotografía N° 4.12: Ensayo típico de compresión diagonal en muretes. En este caso corresponde a la muestra 3 del Lote 3 (ladrillos artesanales cocidos en el tercio intermedio de horno).

El número de especímenes fue de 5 muretes por cada lote de ladrillos

El procedimiento de ensayo fue conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 399.621 - 2004. Sin embargo indicamos aquí algunos detalles del ensayo efectuado en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Las características se indican en la foto 4.12 y fig. 4.2.

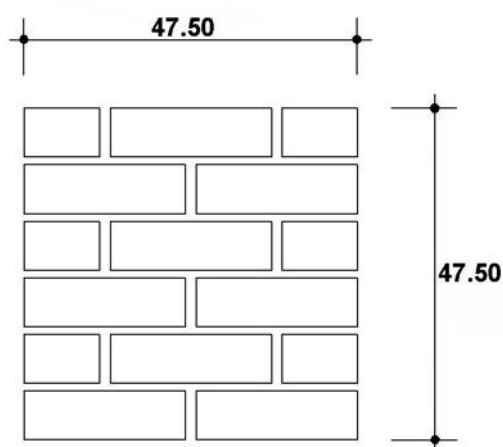


FIG. 4.2: Dimensiones de muretes

Cada murete pila consta de 6 hiladas, con dos ladrillos con aparejo de saga, por cada hilada

- o Espesor de junta horizontal = 1.10 cm.
- o Espesor de junta vertical = 1.50 cm.

- o Dimensiones nominales: 7 x 47.50 x 47.50 cm. Cabe precisar que actualmente, el numeral 7.1 de la norma NTP 399.621 establece una dimensión mínima del espécimen de 60 cm x 60 cm. Pero habrá que tomar en consideración que nuestros muretes fueron ensayados antes de la vigencia de esta norma y se han ejecutado solo para probar la hipótesis de mejorar los ladrillos artesanales, es decir no son para determinar un valor característico para diseño estructural.
- o Edad del murete a la fecha de ensayo = 28 días
- o Velocidad de ensayo a compresión axial = 2.5 T_n/min
- o Tratamiento de la unidad para construir los muretes: por riego 1 día antes del asentado y también por riego 1 hora antes de asentarlas.
- o Tratamiento del murete: por riego desde el día siguiente de haberse construido y durante tres días, manteniéndolos con humedad permanente (tres veces por día).

Expresión de resultados

$$U_m = a(P_r/P_a)$$

P_r = carga diagonal de rotura en Kg.

P_a = área diagonal cargada en cm²

a = coeficiente que toma en cuenta la edad del murete en el momento del ensayo (Tabla 8, Norma E.070)

Para nuestro caso, a=1.00, por ensayarse a una edad de 28 días

Los resultados por cada lote de ladrillos, se obtendrán como se indica en el numeral 13 de la norma E.070:

$$U'_m = (U_{prom} - \sigma)$$

U_{prom} = promedio de resistencia de las pilas = $(\sum U_{mi})/n$

σ = desviación estándar de las pruebas.

$$\sigma = \sqrt{(\sum (U_{mi} - U_{prom})^2 / (n-1))}$$

U_{mi} = resistencia a compresión diagonal del murete i

n = número de ensayos

ENSAYO A COMPRESION DIAGONAL EN MURETES – Lote L1						
Identificación		LVDT VERTICAL	LVDT. HORIZONTAL	Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{mi} Kg/cm²	(V_{mi} - V_m)²
Lote	especímen	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L1 Mejorados y quemados en la parte intermedia del horno	1	10.70	10.70	10.7	12	0.00
	2	8.03	8.03	8.03	9	9.00
	3	11.34	11.34	11.34	13	1.00
	4	10.58	10.58	10.58	12	0.00
	5	12.36	12.49	12.43	14	4.00
Resistencia promedio V _{prom}					12	14.00
$\sigma = \sqrt{(\sum (V_{mi} - V_{prom})^2 / (n-1))}$						1.87
Resistencia característica (V' _m , en Kg/cm ²)						10
Resistencia característica (V' _m , en Mpa)						1.00



Foto N° 4.13: Muestra 4 del Lote de ladrillos mejorados y cocidos en el tercio intermedio del horno. Se observa falla vertical atravesando unidades y mortero lo que demuestra buena adherencia entre ambos.

ENSAYO A COMPRESION DIAGONAL EN MURETES – Lote L2						
Identificación		LVDT VERTICAL	LVDT. HORIZONTAL	Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{mi} Kg/cm ²	$(V_{mi} - V_m)^2$
Lote	especímen	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L2 Mejorados y quemados en la parte superior del horno	1	7.09	6.85	6.97	8	5.76
	2	9.05	9.05	9.05	10	0.16
	3	9.94	10.07	10.01	11	0.36
	4	10.83	10.96	10.90	12	2.56
	5	9.81	9.81	9.81	11	0.36
Resistencia promedio V_{prom}					10.40	9.20
$\sigma = \sqrt{(\sum(V_{mi} - V_{prom})^2)/(n-1)}$						1.52
Resistencia característica (V'_m , en Kg/cm ²)						8
Resistencia característica (V'_m , en Mpa)						0.8



Fotos N° 4.14 y 4.15: Muestras 3 y 4 del Lote de ladrillos mejorados y cocidos en el tercio superior del horno. Se observa falla vertical atravesando unidades y mortero lo que demuestra buena adherencia entre ambos.

ENSAYO A COMPRESION DIAGONAL EN MURETES – Lote 3						
Identificación		LVDT VERTICAL	LVDT. HORIZONTAL	Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{mi} Kg/cm ²	$(V_{mi} - V_m)^2$
Lote	muestra	Carga (Tn)	Carga (Tn)			
L3 Tradicional y quemados en la parte intermedia del horno	1	4.00	4.08	4.04	5	0.00
	2	4.57	3.91	4.24	5	0.00
	3	4.08	4.08	4.08	5	0.00
	4	4.08	4.16	4.12	5	0.00
	5	4.44	4.49	4.47	5	0.00
Resistencia promedio V_{prom}					5	0.00
$\sigma = \sqrt{(\sum(V_{mi} - V_{prom})^2)/(n-1)}$						0.00
Resistencia característica (V'_m , en Kg/cm ²)						5
Resistencia característica (V'_m , en Mpa)						0.5

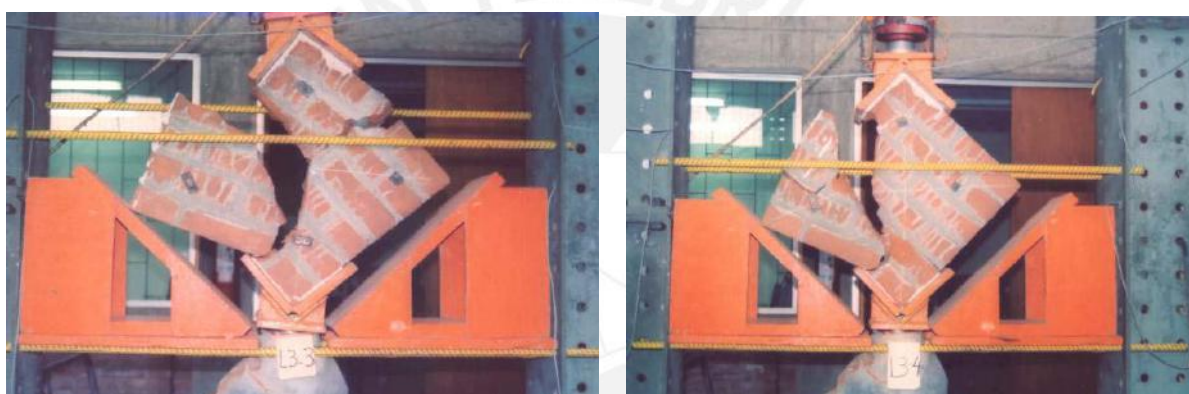


Foto N° 4.16 y 4.17: Muestras 3 y 4 del Lote de ladrillos artesanales de producción tradicional cocidos en el tercio intermedio del horno. Se observa falla entre escalonero y cortando unidades, esto nos indica que no se ha logrado optimizar la adherencia unidad-mortero.

4.2.6 Módulo de Corte (G_m)

Los resultados de los ensayos reportan deformaciones tomados con dos LVDT por cada murete, uno mide la deformación horizontal (δ_H) y el otro la deformación vertical (δ_V), con estos resultados y tomando los datos del segmento lineal de los gráficos (Anexos N° 01 y 02), podemos plantear la siguiente expresión para el cálculo del Módulo de Corte G_m .

$$G_m = \frac{P/A}{(\delta_H/L_H + \delta_V/L_V)} ; \text{ donde:}$$

δ_V, δ_H = deformación registrada por cada LVDT, horizontal y vertical

L_H, L_V = longitud entre bases del LVDT, para nuestro caso = 40 cm, tanto horizontal como vertical.

A = área de la sección transversal diagonal del murete = 873.28 cm²

P = carga obtenida del gráfico.

Con estas expresiones se obtienen los siguientes resultados:

Módulo de Corte - Lote 1								
Identificación		LVDT VERTICAL		LVDT. HORIZONTAL		Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{m_i} Kg/cm ²	G_m Kg/cm ²
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	Carga (Tn)	Deform. (mm)			
L1 Mejorados y quemados en la parte intermedia del horno	1	10.70	0.265	10.70	0.051	10.7	12.25	15000
	2	8.03	0.2425	8.03	0.066	8.03	9.2	11000
	3	11.34	0.18	11.34	0.024	11.34	12.99	26000
	4	10.58	0.27	10.58	0.055	10.58	12.12	14000
	5	12.36	0.3125	12.49	0.058	12.43	14.23	15000
Módulo de Corte de la muestra, G_m (Kg/cm ²)								16000

Módulo de Corte - Lote 2								
Identificación		LVDT VERTICAL		LVDT. HORIZONTAL		Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{m_i} Kg/cm ²	G_m Kg/cm ²
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	Carga (Tn)	Deform. (mm)			
L2 Mejorados y quemados en la parte superior del horno	1	7.09	0.17	6.85	0.025	6.97	7.98	16000
	2	9.05	0.21	9.05	0.047	9.05	10.36	16000
	3	9.94	0.2375	10.07	0.041	10.01	11.46	16000
	4	10.83	0.225	10.96	0.042	10.90	12.48	18000
	5	9.81	0.275	9.81	0.07	9.81	11.23	13000
Módulo de Corte de la muestra, G_m (Kg/cm ²)								15000

Módulo de Corte - Lote 3								
Identificación		LVDT VERTICAL		LVDT. HORIZONTAL		Carga Promedio (Tn)	Esf. Comp. Diagonal: V_{m_i} Kg/cm ²	G_m Kg/cm ²
Lote	muestra	Carga (Tn)	Deform. (mm)	Carga (Tn)	Deform. (mm)			
L3 Tradicional y quemados en la parte intermedia del horno	1	4.00	0.3175	4.08	0.08	4.04	4.63	4600
	2	4.57	0.40	3.91	0.16	4.24	4.86	3400
	3	4.08	0.275	4.08	0.089	4.08	4.67	5100
	4	4.08	0.3175	4.16	0.0835	4.12	4.72	4700
	5	4.44	0.22	4.49	0.076	4.47	5.12	6800
Módulo de Corte de la muestra, G_m (Kg/cm ²)								4900

4.2.7 Resumen de Resultados

Los resultados para los tres lotes se resumen en el siguiente cuadro.

Resumen de Resultados							
Lote	f'_b (Kg/cm ²)	f'_m (Kg/cm ²)	V'_m (Kg/cm ²)	E_m (Kg/cm ²)	G_m (Kg/cm ²)	E_m/f'_m	G_m/E_m
L ₁	140	36	10	48000	16000	1333	0.33
L ₂	70	37	8	20000	15000	557	0.73
L ₃	42	19	5	6800	4900	358	0.72

CAPITULO V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Prueba de Hipótesis

El presente trabajo sostuvo la siguiente hipótesis:

“Se debe mejorar la cocción del ladrillo actual para obtener ladrillos de mayor resistencia y mayor durabilidad. Para ello, se incluirán huecos en la cara de asiento lo que facilita la circulación de aire caliente en su interior. Además si se agrega un 10% de aserrín a su composición, se puede disminuir la gradiente de contracción de secado”.

De los resultados de los ensayos encontramos, en resumen lo siguiente:

Lote	Esfuerzo a compresión en unidades f'_b (Kg/cm ²)	Esfuerzo a compresión en Prismas f'_m (Kg/cm ²)	Esfuerzo a compresión diagonal en muretes V'_m (Kg/cm ²)	Verificación con Norma E - 070		
				f'_b Tabla 1	f'_m Tabla 9	V'_m Tabla 9
L1: mejorados y quemados en el tercio intermedio del horno	140	36	10	Cumple, clasifica como tipo IV	Cumple para KK artesanal	Cumple para KK industrial
L2: Mejorados y quemados en el tercio superior del horno	70	37	8	Cumple, clasifica como tipo II	Cumple para KK artesanal	Cumple para KK industrial
L3: Tradicional quemados en el tercio intermedio del horno	42	19	5	No cumple, no clasifica	No cumple	No cumple

- ✓ El Ladrillo artesanal tradicional (Lote 3) no cumple con la norma E.070, es decir es un material no normalizado y por tanto no debería utilizarse para muros portantes.
- ✓ Los ladrillos mejorados con la inclusión de 8 huecos de 2.10 cm de diámetro en la cara de asiento, que representa un 9.27% de vacíos, califica como unidad de albañilería sólida (definición 3.26 de la Norma E.070 (2006)).
- ✓ La inclusión de huecos en la cara de asiento y 10% (en volumen) de aserrín en la composición de la materia prima, ha permitido que mejoren las resistencias a compresión de unidades, pilas y muretes, logrando clasificar el ladrillo, por lo menos para KK artesanal, establecido en la tabla 9 de la Norma E.070.

- ✓ En el caso de la resistencia a compresión de prismas y compresión diagonal de muretes, los ladrillos mejorados, prácticamente han duplicado la resistencia de la producción tradicional.
- ✓ En el caso de la resistencia a compresión de unidades, los resultados en los ladrillos mejorados, han sobrepasado las expectativas, lo que habría que tomar con mucha cautela, y ejecutar más pruebas, para determinar su valor característico con producción masiva.
- ✓ Un aspecto fundamental, es que las mejoras han permitido que incluso el lote L2, quemados en el tercio superior del horno, cumplan con la norma. Esto es particularmente importante, puesto que hace posible que se utilice toda la hornada, independientemente de la ubicación de las unidades dentro del horno.
- ✓ En cuanto a la relación entre el módulo de elasticidad respecto a la resistencia a compresión de prismas, los resultados del lote 2 ($E'_m/f'_m=568$) se acercan al valor recomendado por el cap. 8 de la Norma E.070 ($E'_m/f'_m=500$). Para la producción artesanal esta es 330 y para los ladrillos mejorados y cocidos en el tercio central (Lote 1), alcanzan un valor de 1200.
- ✓ En cambio, la relación entre los módulos de corte G_m/E_m , para el lote 1 ($G_m/E_m = 0.346$) se aproxima más a la recomendación del cap. 8 de la norma E.070 ($G_m/E_m = 0.40$). Para los otros dos casos (lote 2 y 3) están alrededor de 0.7.

5.2 Comparación de resultados con trabajos similares

a) Resistencia a compresión de unidades (f'_b).

- Nuestro resultado para la producción artesanal sin mejoras es de 42.35 Kg/cm^2 . es decir no alcanza el mínimo para el tipo I (tabla1: NTE E.070 (2006)= 50 Kg/cm^2). Pero los ladrillos mejorados (lotes 1 y 2) alcanzan resistencias a compresión de unidades de 140.68 y 70.95 Kg/cm^2 , clasificando como tipo IV y II, respectivamente.
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Grau-Piura (A. Fontana. 1999) reportan valores entre 35.31 a 90.22 Kg/cm^2 . De nueve ladrilleras estudiadas, solo dos no alcanzan clasificar, pero los siete restantes clasifican entre los tipos I y II de la Norma E.070(2006)
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Junín (D. Aguirre. 2004) reportan valores entre 31.00 a 46.16 Kg/cm^2 . De 4 zonas estudiadas, ninguno alcanza clasificar ni como tipo I de la Norma E.070 (2006).

Podemos concluir que la resistencia a compresión (f'_b) para los ladrillos de producción artesanal, encontrados en Huánuco y Junín son similares, ya que no alcanzan clasificar de acuerdo con la Norma E.070 (2006), sin embargo en Piura, la mayoría de las ladrilleras alcanzan clasificar como de tipo I y II.

b) Resistencia a compresión de prismas (f'_m)

- Nuestro resultado para la producción artesanal sin mejoras es de 19.37 Kg/cm² es decir no alcanza el mínimo para el tipo King Kong artesanal (tabla 9: NTE E.070 (2006)= 35 Kg/cm²). Pero los ladrillos mejorados (lotes 1 y 2) alcanzan resistencias a compresión de unidades de 36.78 y 36.99 Kg/cm², respectivamente, superando ligeramente el valor para el tipo KK artesanal.
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Grau-Piura (A. Fontana. 1999) reportan valores entre 25.44 a 40.12 Kg/cm². De 04 ladrilleras estudiadas, tres no alcanzan el valor mínimo para KK artesanal
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Junín (D. Aguirre. 2004) reportan valores entre 16.74 a 35.56 Kg/cm². De 4 zonas estudiadas, tres no alcanzan el valor mínimo para KK artesanal

Podemos concluir que para la producción artesanal de ladrillos de las tres regiones, Huánuco, Junín y Piura, la resistencia a compresión de prismas no alcanza el valor para KK artesanal recomendado en la NTE E.70 (2006).

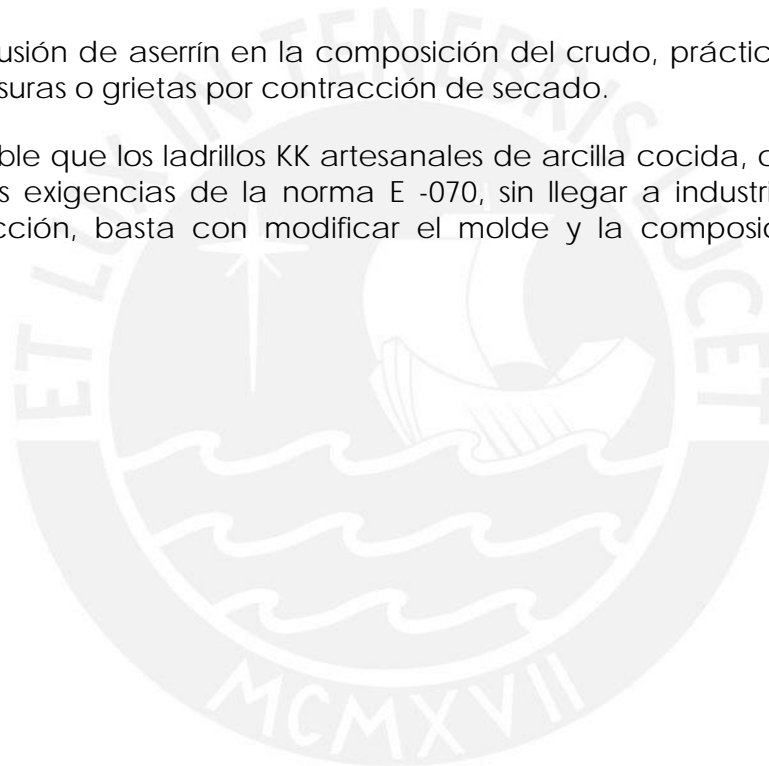
c) Resistencia a compresión diagonal de muretes (v'_m)

- Nuestro resultado para la producción artesanal sin mejoras es de 4.60 Kg/cm² es decir no alcanza el mínimo para el tipo King Kong artesanal (tabla 9: NTE E.070 (2006)= 5.10 Kg/cm²). Pero los ladrillos mejorados (lotes 1 y 2) alcanzan resistencias a compresión de unidades de 10.31 y 9.00 Kg/cm², respectivamente, alcanzando el valor recomendado para KK industrial de la Norma E.070 (8.1 Kg/cm²).
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Grau-Piura (A. Fontana. 1999) reportan valores entre 4.51 a 8.33 Kg/cm². De 04 ladrilleras estudiadas, solo una no alcanzan el valor mínimo recomendado para KK artesanal
- Los resultados para ladrillos de producción artesanal en la región Junín (D. Aguirre. 2004) reportan valores entre 3.71 a 6.53 Kg/cm². De 4 zonas estudiadas, solo una no alcanza el valor mínimo recomendado para KK artesanal

Podemos concluir que en cuanto a esfuerzo de corte, la producción artesanal de ladrillos de las regiones Junín y Piura, logran alcanzar el valor mínimo recomendado por la Norma E.070 (2006); y el de Huánuco está muy próximo (90% del recomendado por la Norma E.070)

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

- ✓ La inclusión de huecos en la cara de asiento y aserrín en la composición del crudo, permite que los ladrillos artesanales de arcilla cocida, cumplan con las exigencias de la norma E 070, clasificándolo por lo menos como del tipo II.
- ✓ Efectivamente, la inclusión de huecos, manteniendo la condición de sólido o macizo (menos de 30% de vacíos), permite mejor circulación del aire caliente, cociendo mejor la parte central de la unidad.
- ✓ Un mejor grado de cocción (sin llegar a vitrificar), permite que el ladrillo alcance una mayor resistencia y en consecuencia también mayor durabilidad frente a las inclemencias del clima.
- ✓ La inclusión de aserrín en la composición del crudo, prácticamente evita fisuras o grietas por contracción de secado.
- ✓ Es posible que los ladrillos KK artesanales de arcilla cocida, cumplan con las exigencias de la norma E -070, sin llegar a industrializar la producción, basta con modificar el molde y la composición del crudo.



CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Los resultados obtenidos solo nos indican que la inclusión de huecos en la cara de asiento y aserrín en la composición de la materia prima (crudo), permiten mejorar la resistencia del ladrillo artesanal. A efectos de obtener sus demás características, será necesario emprender una nueva investigación experimental, tomando en cuenta a todas las plantas de producción artesanal, con ello será posible determinar los valores característicos de las resistencias de la unidad, prismas y muretes
- ✓ Como se ha probado, la resistencia del ladrillo artesanal de arcilla cocida, depende de su grado de cocción, siendo necesario investigar más en esa dirección, para establecer la correlación de las resistencias, con la ubicación del ladrillo en el horno (tercio inferior, intermedio o superior)
- ✓ Un mejor grado de cocción, no solamente se logra con la variación de la forma y composición del crudo, que nosotros elegimos como variables independientes, sino también mejorando la competencia del horno. En este sentido es conveniente estudiar un nuevo tipo de horno, que pueda almacenar por más tiempo los calores de combustión de la leña (que se enfríen más lentamente), por ejemplo dejando en el núcleo de las paredes del horno, una "alma de arena" revestidos con arcilla.
- ✓ El exceso de agua que añade al crudo, para conseguir la hidratación de todas las partículas de arcilla, que a su vez es necesario para hacer posible el moldeo manual, genera problemas de contracción de secado, lo que se evitaría con el empleo de un equipo manual, que pueda moldear unidades por compresión en estado húmedo, que corresponde a otra línea de investigación en aras de mejorar la producción artesanal de ladrillos de arcilla cocida.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Héctor Gallegos Vargas (1991). Albañilería Estructural. Lima: Fondo Editorial PUCP. 2da edición.
2. Ángel San Bartolomé Ramos (1994). Construcciones de Albañilería, Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural. Lima: Fondo Editorial PUCP. 1era edición.
3. Gallegos, Ríos, Casabonne, Ucelli, Icochea, Arango (1977). Estudio Integral de la Construcción con Albañilería: en busca de una solución económica para la vivienda multifamiliar. Lima: S.ED.
4. Elena Sánchez Borea(1982). Estudio de la Variabilidad en la calidad de los ladrillos producidos en la ciudad de Lima. Lima: Tesis PUCP
5. Karl Splinger (1954). Defectos en la Fabricación de Ladrillos y Tejas: Causas y Medios a aplicar para evitarlos. Barcelona: Editorial Reverté.
6. Eloy Robusté (1969). Técnica y Práctica de la Industria Ladrillera II. Barcelona: Ediciones CEAC.
7. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y SENCICO (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.070 "Albañilería". Lima: Gráfica El Porvenir S.A.
8. INDECOPI 2006. Normas Técnicas Peruanas. Lima: INDECOPI NTP 399.613-2005; NTP 399.605-2003; NTP 399.621-2004
9. Córdova, Carlos (1994). Vulnerabilidad Sísmica de la ciudad de Huánuco. Huánuco: Tesis de Grado UNHEVAL
10. Félix, Hugo (2000). Unidades de Albañilería de arcilla cocida en Huánuco. Huánuco: Tesis de Grado UNHEVAL
11. Fontana, Alejandro (1999). Evaluación de las características Estructurales de la Albañilería Producida con Unidades Fabricadas en la Región Grau – Piura. Lima: Tesis de Maestría PUCP
12. Aguirre, Dionisia (2004). Evaluación de las Características Estructurales de la Albañilería Producida con Unidades Fabricadas en la Región Central Junín. Lima: Tesis de Maestría PUCP
13. Ángel San Bartolomé, Daniel Quiun y Wilson Silva (2011). Diseño y Construcción de Estructuras Sismoresistentes de Albañilería. Lima: Fondo Editorial PUCP. 1era edición.
14. <http://es.wikipedia.org/wiki/ladrillo>.
Manual de Ejecución de ladrillo cara vista Hispalyt