

NUEVAS METAS PARA MEJORAR LA NORMA DE ALBAÑILERÍA E.070-2006

Quiun, D. Ing. Civil, M Ing.

Prof., Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, dquiun@pucp.edu.pe

San Bartolomé, A., Ing. Civil, M Ing.

Prof., Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, asanbar@pucp.edu.pe,

RESUMEN

La recientemente publicada Norma E.070 ALBAÑILERÍA (SENCICO 2006), introdujo muchos cambios respecto a la previa (ININVI 1982), producto de muchas investigaciones nacionales y extranjeras, las lecciones observadas en sismos pasados, entre otros aspectos. Sin embargo, la Norma aún no ha incorporado una serie de temas que faltan investigar, de modo que las construcciones de albañilería existentes y futuras puedan ser mejoradas en aspectos como su resistencia, economía y durabilidad. Por ello, se presenta y discute una serie de temas de investigación para las construcciones de albañilería, cuyos resultados podrían ser incorporados a una futura versión de la Norma de Albañilería E.070.

ABSTRACT

The recently published Masonry Code E.070 (SENCICO 2006), introduced several changes respect of the earlier version (ININVI 1982), due to many national and foreign researches, the lessons observed in past earthquakes, among other issues. However, the Code has not yet incorporated a series of topics that still are under investigation, in order to improve existent and future masonry constructions in terms such as resistance, economy and durability. Therefore, a discussion of a series of research topics is presented, which should yield results to be included in a future version of the Masonry Code E.070.

1. INTRODUCCIÓN

La Norma E.070 recientemente publicada (SENCICO 2006), cubre el diseño y construcción de edificaciones de albañilería en el Perú. Respecto a la Norma previa (ININVI 1982), se han introducido una serie de cambios sustanciales, gracias al avance de investigaciones analíticas y experimentales realizadas en el Perú y en el extranjero, las lecciones dejadas por los sismos pasados, entre otros aspectos.

Sin embargo, es necesario seguir desarrollando investigaciones en varios temas que al concluir, podrían incorporar sus resultados en una nueva versión mejorada de la norma.

2. BREVE REPASO DE PRINCIPALES CAMBIOS

Se da un breve repaso a los principales cambios entre la Norma de Albañilería E.070 actual del 2006 y la anterior de 1982. La relación de comentarios se centra en los materiales, el procedimiento de construcción, la resistencia de la albañilería, el análisis y diseño estructural, y la interacción tabique-pórtico.

2.1 MATERIALES

La unidad de albañilería sólida o maciza se ha redefinido (artículo 3.26), como aquella 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. La norma anterior exigía que la sección transversal tenga un área igual o mayor al 75% del área bruta. Las investigaciones experimentales realizadas indican que la resistencia ante diversas sollicitaciones, en especial la resistencia al corte de la albañilería ($v'm$), no sufre mayores alteraciones por el incremento de área de huecos que ahora se permite hasta un 30% del área bruta (San Bartolomé 2007, 1998).

Sin embargo, en el mercado nacional predominan unidades de arcilla y de concreto (ladrillos y bloques) con mayores áreas de huecos (40% o más) que no califican como unidades aptas para muros portantes (fig.1 izquierda y centro). La falla por corte de muros hechos de estas unidades han sido frágiles y conducen a un deterioro de la albañilería que puede llevar a reparaciones demasiado costosas. Esto se ha dado tanto en ensayos de laboratorio (San Bartolomé 2007, 1998) como en edificios reales en el sismo de junio del 2001, en especial en la provincia de Tacna donde se siguen usando indebidamente bloques de concreto artesanales que exhiben más de 50% de huecos, para muros portantes (fig.1 derecha).



Fig. 1. Fallas frágiles en unidades con más de 30% de huecos (izq, centro) y bloques de concreto artesanales usados en Tacna (der.)

La tabla 2 de la Norma 2006 da limitaciones para el uso de cada clase de unidad de albañilería para fines estructurales. En la zona sísmica 1, la de menor sismicidad, para muros portantes se permite el uso de unidades huecas, y el uso de unidades tubulares hasta dos pisos. Este último caso aún requiere de más estudios del comportamiento estructural y constituye una línea de investigación vigente.

El uso de la cal en el mortero se ha mantenido optativa, pero con otras proporciones. La tabla 4 de la Norma 2006 indica dos tipos de morteros para muros portantes:

- tipo P1 cemento: cal: arena 1: 0 a ¼: 3 a 3 ½;
- tipo P2 cemento: cal: arena 1: 0 a 1/2: 4 a 5

Estos morteros han dado buenos resultados en muros ensayados en laboratorio, para pegar unidades de arcilla especialmente. En el caso de los ladrillos de concreto industriales relativamente recientes en el mercado, queda aún pendiente de estudio la mejor proporción para el mortero, y si es o no necesario el uso de la cal.

2.2 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

Sólo se comenta aquí el tratamiento a las unidades previamente al asentado de las mismas, en donde ha habido un cambio total en la Norma.

La Norma previa de 1982 indicaba que para unidades sílico calcáreas bastaba una limpieza del polvillo superficial; ninguna acción para unidades de concreto; en el caso de unidades de arcilla industrial, la inmersión en agua inmediatamente antes del asentado; y en el caso de unidades de arcilla artesanal, la inmersión en agua por lo menos una hora inmediatamente antes del asentado. Estas inmersiones conducen a ladrillos de arcilla saturados en la superficie, sin lograr una correcta adhesión con el mortero.

El artículo 10.4 de la Norma 2006 especifica el nuevo tratamiento a darle a las unidades previamente al asentado (fig. 2).

- Para concreto y sílico-calcáreo: pasar una brocha húmeda sobre las caras de asentado o rociarlas.
- Para arcilla: de acuerdo a las condiciones climatológicas donde se encuentra ubicadas la obra, regarlas durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas.



Fig. 2. Tratamiento de unidades antes del asentado: regado de ladrillos de arcilla (izq.) y limpieza con escobilla húmeda en bloques de concreto (der.).

Queda abierta la adopción de otras técnicas para lograr el objetivo, cual es que la succión de las unidades al instante de asentarlas, esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm²-min.

2.3 RESISTENCIA DE LA ALBAÑILERÍA

La medición de la resistencia a compresión ($f'm$) ha cambiado en cuanto al área a utilizar. En la Norma de 1982 se empleaba el área neta cuando se trataba de unidades huecas (más de 25% de huecos en la cara de asentado) y el área bruta en unidades sólidas o unidades huecas con alveolos rellenos. Esta forma de medición arrojaba en muchos casos, mayores valores de $f'm$ en unidades huecas que en unidades sólidas. En la Norma de 2006 todas las áreas a utilizar en la evaluación de la resistencia $f'm$ son áreas brutas.

Asimismo, el cálculo en sí de $f'm$ ha variado, de la ecuación 1 a la ecuación 2.

$$1982: f'm = f_m (\text{prom.}) \times [1 - 1.5(V - 0.10)] \quad (\text{ec. 1})$$

$$2006: f'm = f_m (\text{prom.}) - \sigma \quad (\text{ec. 2})$$

Siendo V = el coeficiente de variación
 σ = la desviación estándar.

De otro lado, una nueva exigencia de la Norma 2006 en su tabla 7 consiste en la realización obligatoria de ensayos de prismas y muretes (fig. 3) en función del número de pisos de la edificación y de la zona sísmica.

En cuanto a los coeficientes de corrección por esbeltez a la resistencia $f'm$, se ha mantenido la tabla de valores anterior. Dichos valores han sido verificados experimentalmente como indica San Bartolomé (2007).

La medición de la resistencia al corte de la albañilería ($v'm$), no existía en la versión de 1982, mientras que la versión del 2006 exige la realización de ensayos de compresión diagonal en muretes según Norma NTP 399.621.

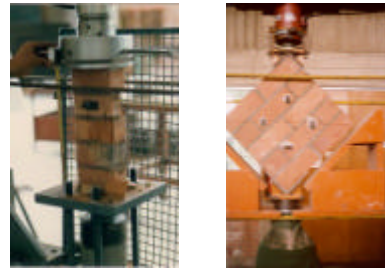


Fig. 3 Ensayos de compresión axial en pilas para determinar $f'm$ (izq.) y de compresión diagonal en muretes para determinar $v'm$ (der.)

2.4 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Para la verificación ante cargas verticales de gravedad, ecuación 19.1b, se mantiene la expresión de compresión axial de la Norma previa (esfuerzo admisible), donde se ha aclarado la forma de obtener el esfuerzo actuante, usando el 100% de carga muerta y viva; además, el área a usar es rectangular Lxt . Se ha añadido además un límite máximo para el esfuerzo de compresión axial de $0.15 f'm$, ya que con esfuerzos mayores, los muros pierden mucha ductilidad (San Bartolomé 2007).

El cambio más significativo es el diseño de muros con cargas coplanares de sismo, que ha pasado de un diseño elástico por esfuerzos admisibles, a un diseño por rotura con criterios de desempeño. Se requiere verificar dos condiciones de fuerzas sísmicas: un estado de sismo "moderado" y un estado de sismo "severo".

El sismo severo (artículo 22) corresponde a aquel definido en la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (SENCICO 2003) en condiciones últimas, donde una edificación de albañilería tiene un coeficiente de reducción $R=3$. El sismo moderado ha sido definido como aquel que proporciona fuerzas de inercia que son la mitad de las producidas en el sismo severo.

Para efectos prácticos, el análisis estructural para cargas de sismo puede hacerse entonces con $R=6$, y obtener un juego de fuerzas internas en los muros en condiciones de sismo moderado, es decir elásticas. En particular, la fuerza cortante en estas condiciones, V_e , debe cumplir las ecuaciones 3, 4 y 5.

Ante el sismo moderado, los muros de albañilería no deben presentar fisuras de corte. Un muro se fisura cuando alcanza una fuerza cortante denominada V_m (ecuaciones 4 a y 4b).

$$V_e \leq 0.55 V_m \quad (\text{ec.3})$$

Unid. Arcilla y concreto:

$$V_m = 0.5 v'm \alpha L t + 0.23 P_g \quad (\text{ec 4 a})$$

Unid. Sílico calcáreas:

$$V_m = 0.35 v'm \alpha L t + 0.23 P_g \quad (\text{ec. 4b})$$

Siendo $\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1 \quad (\text{ec. 5})$

El parámetro α toma en cuenta la esbeltez coplanar del muro. Investigaciones experimentales en muros a escala natural y reducida indicaron que en muros cuadrados o bajos la resistencia al corte V_m es aproximadamente la misma, mientras que en muros altos o esbeltos, la resistencia V_m se reduce (San Bartolomé 2007, 1998).

2.5 INTERACCIÓN TABIQUE-PÓRTICO

El capítulo 10 de la Norma 2006 trata sobre los efectos que los tabiques de albañilería le pueden ocasionar a una estructura de pórticos de concreto armado o acero. Este tema es una novedad cuya importancia en el comportamiento sísmico no debe soslayarse, y se debe complementar con las normas de diseño respectivas de estas otras estructuras.

El tabique de albañilería se modela como un puntal diagonal en compresión, siguiendo recomendaciones de Paulay y Priestley (1992), con un ancho efectivo de 0.25 veces la longitud de la diagonal. Este tipo de modelo puede influir notablemente en el comportamiento sísmico del edificio, aumentando la rigidez lateral del pórtico que contiene tabiques. Efectos como la torsión en planta, el piso blando y las columnas cortas (fig. 4) son ejemplos conocidos de la influencia negativa de los tabiques.



Fig. 4. Fallas de columnas cortas de concreto armado causadas por tabiques de albañilería, sismos de Nasca 1996 (izq.) y Moquegua 2001 (der.)

3.0 NUEVAS METAS A INVESTIGAR

No obstante la serie de avances introducidos en la Norma E.070 2006, quedan una serie de temas pendientes de investigación, a fin de mejorar las condiciones de resistencia, economía y durabilidad de la albañilería.

La lista de temas que se discute incluye brevemente lo siguiente: 1) Refuerzo para muros portantes hechos con unidades tubulares o huecas; 2) Evaluación de la seguridad de estructuras existentes de muros hechas con unidades tubulares; 3) Valores de las resistencias a compresión ($f'm$) y al corte

($v'm$) de nuevas unidades como las de junta seca y los ladrillos de concreto; 4) Evaluación del uso de canastillas prefabricadas como refuerzo de los elementos de confinamiento o arriostre; 5) Medidas para controlar la eflorescencia; 6) Extensión de la altura de edificios de albañilería confinada a más de cinco pisos. Estos y otros temas más son discutidos a continuación.

3.1 REFUERZO DE MUROS PORTANTES HECHOS DE UNIDADES TUBULARES O HUECAS

En muchas localidades del Perú, incluyendo zonas de alta sismicidad histórica, lamentablemente se encuentran numerosas edificaciones con muros portantes de albañilería hechos de unidades tubulares (ladrillos pandetera) o huecas (con más de 30% de huecos en la cara de asentado). Estos muros están destinados a fallar en forma frágil, con trituración de las unidades, en sismos severos o incluso moderados, por lo que es necesario estudiar medios para reforzarlos y así puedan contribuir de manera efectiva en la resistencia sísmica de la edificación. La evidencia experimental se observa en la fig. 5 donde se compara el patrón de fisuras de dos muros, el izquierdo con ladrillos de 40% huecos y el derecho con ladrillos de sólo 30% de huecos (que califican como sólidos).

La utilización como refuerzo de mallas electrosoldadas ancladas a muros previamente fisurados por corte, ha dado indicios aceptables de ser efectivas, por aumentar la resistencia, mejorar la ductilidad, y porque la falla por corte diagonal cambia a una falla por flexión en el muro reforzado.



Fig. 5. Muros ensayados a carga lateral, las unidades huecas se trituran (izq.) y las unidades sólidas se mantienen (der.) San Bartolomé (2007).

San Bartolomé y Castro (2003) ensayaron muros confinados de ladrillos de arcilla huecos (fig. 6), reportando un incremento de 40% en la fuerza lateral resistente entre el muro reparado y el muro original, además de una mejora en la ductilidad. Quiun *et. al.* (2005) ensayaron muros confinados de bloques huecos artesanales de concreto, típicos de la ciudad de Tacna, (fig. 7) reportando un incremento de 44% en la fuerza lateral resistente y ampliando la capacidad de deformación lateral.



Fig. 6. Muro de ladrillos de arcilla huecos reforzado con malla electrosoldada, San Bartolomé y Castro (2003)



Fig. 7. Muro hecho de bloques de concreto artesanal: falla del muro original (izq.) y falla del muro reforzado con malla electrosoldada (der.) Quiun, Alférez y Quinto (2005)

Estos ensayos deben continuar para contar con las bases suficientes que permitan establecer fórmulas útiles, seguras y precisas de la resistencia de muros reforzados. Asimismo, se debe buscar otros procedimientos de refuerzo que puedan ser implementados en forma eficaz, económica y cuya inclusión en una construcción existente sea aceptable por el usuario.

3.2 EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE ESTRUCTURAS EXISTENTES DE MUROS HECHAS CON UNIDADES TUBULARES

Las expresiones para la resistencia al corte de los muros, V_m , están deducidas para unidades sólidas. Sin embargo, es muy frecuente encontrar edificaciones de albañilería donde los muros portantes están hechos de unidades tubulares (ladrillos pandereta). Para estos muros, no se cuenta con expresiones de la resistencia al corte V_m , que permitan un análisis similar al que se hace con muros de unidades sólidas (fig. 8).



Fig. 8. Los muros portantes de unidades tubulares carecen de expresiones para su resistencia al corte.

Más aún, al haberse aceptado el uso de estas unidades tubulares para muros portantes en la Zona sísmica 1 del Perú, es necesario desarrollar investigaciones del comportamiento último de muros con estas unidades.

En el caso de edificaciones existentes, sobre todo en las zonas de alta sismicidad como las ciudades de la costa peruana, es además necesario desarrollar procedimientos de refuerzo de estos muros, para proteger la edificación ante sismos frecuentes y severos. Existen algunos ensayos de muros existentes reforzados con mallas electrosoldadas con resultados prometedores, pero aún falta más investigaciones para poder llegar a fórmulas de diseño y procedimientos precisos de diseño.

3.3 RESISTENCIAS A COMPRESIÓN (f'_m) Y CORTE (v'_m) DE NUEVAS UNIDADES

En el mercado de unidades de albañilería existen algunas como las de junta seca y los ladrillos de concreto (fig. 9), a las

que falta realizar investigación de las propiedades de resistencia de la albañilería fabricada con tales unidades.

Para el diseño estructural de la albañilería de estas nuevas unidades, las propiedades de interés son la resistencia a compresión (f'_m) y el módulo de elasticidad (E_m), los que se pueden obtener de ensayos de pilas a compresión axial; y también, la resistencia al corte (v'_m) y el módulo de corte (G_m), los que se pueden obtener de ensayos de muretes a compresión diagonal. Tales ensayos están especificados y normalizados por INDECOPI (2003, 2004). Los resultados de tales ensayos a los 28 días y edades más tempranas (14 y 21 días) podrían incorporarse a la Norma E.070, enriqueciendo las tablas 8 (incremento de f'_m y v'_m por edad) y 9 (resistencias características de la albañilería).



Fig. 9. Unidades apilables (bloques) sílico calcáreas (izq., fuente C. Casabonne), y ladrillos de concreto (der.) cuyas propiedades aún no están en la Norma.

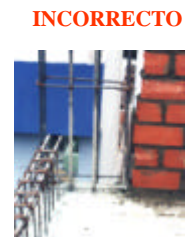
3.4 EVALUACIÓN DEL USO DE CANASTILLAS PREFABRICADAS COMO REFUERZO DE LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO O ARRIOSTRE

El refuerzo de muros de albañilería confinada o arriostrada, consiste en elementos de concreto armado, donde la construcción tradicional es colocar las barras de acero de las columnas y vigas de confinamiento habilitadas "in situ". Luego, el concreto es vaciado produciendo un muro de albañilería estructural confinada o un muro arriostrado.

Relativamente recientes son las ofertas de acero dimensionado por algunas fábricas proveedoras, para estructuras de concreto armado. En el caso de confinamientos o arriostres de albañilería, al ser elementos de concreto armado, cabe en principio la posibilidad de usar canastillas prefabricadas. Sin embargo, el usar estas canastillas implica un cambio en el proceso constructivo tradicional, por lo que antes de su aceptación, es preciso verificar el comportamiento estructural de muros confinados ante cargas coplanares y de muros arriostrados ante cargas perpendiculares a su plano.

El uso de tales canastillas representaría un ahorro en mano de obra y podría evitar defectos constructivos como anclajes insuficientes, falta de estribos, etc. (fig. 10).

Fig. 10. Defectos constructivos del refuerzo tradicional: falta de anclaje del refuerzo longitudinal de la viga, falta de estribos de confinamiento en la columna, ausencia de conexión columna-muro (no hay dentado ni chicotes).



3.5 CONTROL DE LA EFLORESCENCIA

La eflorescencia atenta contra la durabilidad de la albañilería, y surge por la presencia de sales en la unidad o en el mortero de pega (fig. 11). Debe estudiarse métodos eficaces para controlarla y prevenirla. Una sugerencia es desarrollar un método de campo, para detectar en forma rápida si las unidades o la arena podrían desencadenar la eflorescencia.

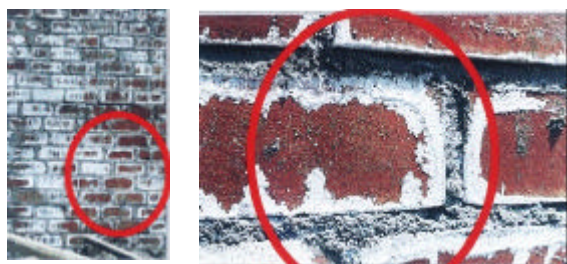
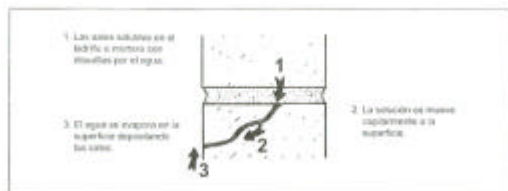


Fig. 11. Mecanismo de eflorescencia (arriba, Gallegos y Casabonne, 2003) y eflorescencia extrema (abajo, izq. y der.), la albañilería sufre serios deterioro por la acción de las sales.

3.6 ALTURA DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA CONFINADA A MAS DE 5 PISOS

En el antiguo Reglamento Nacional de Construcciones y en las Normas de Diseño Sismorresistente (OIN 1977) se limitaba las construcciones de albañilería a 5 pisos sin sobrepasar los 16m de altura. La norma E.070 de Albañilería de 1982 aceptó implícitamente estos límites.

Los estudios teóricos y experimentales llevados a cabo desde entonces, han permitido conocer mejor las propiedades resistentes de los materiales, y el comportamiento estructural de las edificaciones de muros de albañilería confinada (San Bartolomé 1998).

En el contexto de la Norma actual, un edificio de albañilería confinada con una adecuada estructuración, y un correcto análisis y diseño estructural, de hasta 5 pisos pueden contar con la capacidad suficiente para soportar sismos moderados sin fisurarse, y sismos severos con daños reparables (fig. 12). Sin embargo, otros países en los que también se tiene que hacer diseños por sismos, permiten más pisos, como el caso de la ciudad de Bogotá, Colombia (fig. 12).

En la Norma vigente de SENCICO (2006) la capacidad de corte de los muros V_m , y la resistencia sísmica de la edificación, como suma de los valores de V_m , ha sido calibrada considerando edificaciones de hasta 5 pisos. Los muros en estos edificios han mostrado una falla por corte que. Sin embargo, es factible concebir edificaciones de albañilería confinada o de albañilería armada con mayor número de pisos y calibrar nuevas fórmulas para V_m , de modo que

manteniendo la misma concepción de diseño por desempeño, estas edificaciones se puedan diseñar racionalmente.



Fig. 12. Edificios peruanos de albañilería de hasta 5 pisos de altura (izq.), mientras que en Colombia, se permite más altura (der.)

4. CONCLUSIONES

La nueva norma E.070 (2006) introdujo varios cambios en diversos aspectos al diseño y construcción en albañilería. Sin embargo, hay aún una serie de temas que merecen ser investigados a fin de incorporarlos a una nueva versión de la Norma, con el fin de mejorar las condiciones de seguridad y bienestar de la población.

5. REFERENCIAS

- Gallegos H. Casabonne C. (2005) Albañilería Estructural, Fondo Editorial PUCP, Perú.
- INDECOPI (2003) NTP 399.605. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería, Perú.
- INDECOPI (2004) NTP 399.621. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería, Perú.
- ININVI (1982) Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería Ministerio de Vivienda, Perú.
- OIN Ministerio de Vivienda y Construcción (1977) RNC Normas de Diseño Sismo-resistente, Perú.
- Paulay T. y Priestley M.J.N. (1992) Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, John Wiley & Sons, Inc.
- Quiun D., Alférez K. y Quinto D. (2005) Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto, Ponencia EM-30 XV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Ayacucho.
- San Bartolomé A. (1998) Construcciones de Albañilería, Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- San Bartolomé A. (2007) <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- San Bartolomé A. y Castro A. (2003) Reparación de un muro de Albañilería Confinada, Ponencia EM-69 XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros del Perú, Iquitos.
- SENCICO (2003) Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú.
- SENCICO (2006) Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica E.070 Albañilería. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú.