UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Incremento de la productividad de tabiques de albañilería confinada
utilizando el sistema constructivo de bloques apilables en seco y
autoencajables Ital Block

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Cuneo Passalacqua, Gian Piero (0000-0002-4116-9043)

Ricaldi Miranda, Juan José (0000-0002-7032-9093)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-9043-2135)

Lima, 14 de Enero de 2019

DEDICATORIA

A mi viejo, por siempre empujarme

a dar lo mejor de mí;

a mi mamacha, por apoyarme en

mis peores momentos;

a la nana, por siempre creer en mí;

a Anto, por darme siempre apoyo

emocional y paciencia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Ital Gres Industrial SAC por el apoyo que nos ha brindado a lo largo de la investigación, corriendo con todos los gastos que ella ha conllevado

Al maestro Antonio Romero, por ayudarnos en la fabricación de los moldes de las piezas con su gran experiencia en este tema.

Al presidente de directorio de la empresa, señor Luigi Cuneo, quien con su ansia de innovar propulsó esta investigación.

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación es idear un sistema que logre disminuir el costo y el tiempo de elaboración de muros no portantes de albañilería confinada. Para lograrlo se ha diseñado un sistema de bloques de arcilla apilables en seco y autoencajables que cumple con todas las normas imputables.

Para determinar el rendimiento del sistema diseñado se fabricaron las piezas y se construyó un muro con medidas típicas. Los resultados para dicho caso de estudio se resumen en un ahorro de 17% en el costo directo (considerando todo el muro en su conjunto) y 76% en el tiempo empleado (solo en el asentado de bloques).

Palabras clave: Albañilería confinada, Tabique, Materiales de Construcción Ladrillo de Arcilla Apilables en Seco y Autoencajables, Productividad

Increase in the productivity of confined masonry partitions walls using the constructive system of Mortarless Dry-Stacked Interlocking Masonry Bricks Ital Block

ABSTRACT

The principal objective of this research is to design a system that manage to reduce the cost and time in the construction of non-structural masonry walls. To achieve this, it has been designed a Mortarless Dry-Stacked Interlocking Masonry Clay Bricks which verifies all the imputable codes.

To determine the performance of the system, the bricks were made and a wall with typical measurements was built. The results for this study are 17% of reduction in the direct cost (considering the whole wall) and 76 % less time used (alone in the brick seating).

Keywords: Confined masonry, Masonry Partition Walls, Construction Materials, Dry-Stacking and Self-locking Clay Bricks, Productivity

TABLA DE CONTENIDOS

[Sección obligatoria. Aquí se visualiza la estructura del trabajo. Revisar en el Manual de la Hoja de Estilo la generación automática de la Tabla de Contenidos, la cual se crea cuando el documento está terminado]

ÍNDICE DE TABLAS

[Sección obligatoria que se debe realizar cuando el documento esté terminado. Aquí se visualiza la estructura de tablas incluidas en el trabajo. Revisar en el Manual de la Hoja de Estilo la generación automática del Índice de Tablas]

ÍNDICE DE FIGURAS

[Sección obligatoria que se debe realizar cuando el documento esté terminado. Aquí se visualiza la estructura de figuras incluidas en el trabajo. Revisar en el Manual de la Hoja de Estilo la generación automática del Índice de Figuras]

1 INTRODUCCIÓN

Conforme avanza la tecnología, los requerimientos constructivos se vuelven cada vez más rigurosos. Proyectos que en el pasado no eran viables económica o técnicamente, ahora son el día a día de muchas empresas. Los ejemplos pueden ser tan simples como el uso de fajas transportadoras para excavaciones masivas en edificaciones, hasta soluciones muy complejas como el desarrollo de concretos de ultra alta resistencia (UHPC por sus siglas en inglés) para obras de infraestructura.

En el primer caso, el uso de elementos mecánicos muy simples y económicos resulta en un ahorro considerable en la construcción de sótanos. Por otro lado, en el segundo caso, el UHPC permite plasmar en la realidad lo que técnicamente es imposible con otros materiales.

Debe observarse, sin embargo, que por más que se ha logrado introducir en el mercado nuevas tecnologías de forma satisfactoria, en lo que se refiere a los costos de construcción de muros de tabiquería no se ha alcanzado una disminución sustancial.

En este contexto, han aparecido sistemas innovadores que podemos agrupar en tres familias. La primera permite elevar el rendimiento de la mano de obra utilizando nuevas herramientas que facilitan la aplicación del mortero. La segunda, en cambio, propone el uso de morteros a base de polímeros para agilizar la mano de obra y disminuir el costo de materiales. Por último, la tercera se basa en el uso de unidades de albañilería apilables en seco y auto encajables. Esta opción es la que proporciona mayor ahorro para el constructor, pues el avance es mayor, no necesita mortero y, por ende, la limpieza en obra se torna una tarea menor. A continuación, se presenta una descripción de los sistemas constructivos de este tipo, sus ventajas y sus desventajas.

2 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema constructivo Previ

En el Perú, el primer sistema constructivo de bloques de junta seca debidamente normado fue el comúnmente denominado “Sistema Previ”. Este consta de bloques de concreto tipo grapa, cuyas juntas verticales son continuas y capaces de soportar tracciones¹. Así mismo, las juntas horizontales, también continuas, se generan al desfasar $\frac{1}{2}$ altura en forma alternada, completando la traba del trabajo. La figura 1 muestra la vista isométrica de un muro elaborado con el sistema Previ.

Figura 1: Vista isométrica del sistema constructivo Previ de albañilería armada²

En 1982 INTITEC (Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas) elaboró un manual de uso de este método constructivo para viviendas de bajo costo. En este se especifica las características geométricas de los bloques, el procedimiento constructivo que se debe seguir, los materiales necesarios para la fabricación de las piezas in situ y las normas técnicas peruanas que avalan su uso³.

Al tratarse de un sistema de albañilería armada de juntas secas utilizado para muros portantes, el espesor mínimo de los bloques resulta 20 cm, ya que, con espesores menores, las grapas no cuentan con la sección transversal necesaria para resistir los esfuerzos que en

¹ Cfr. INTITEC 1982: 6

² IDEM

³ Cfr. INTITEC 1982: 8-10

ella actúan⁴. Esto se traduce en una disminución del área útil de las viviendas, lo que merma la rentabilidad del proyecto.

Por otro lado, Previ genera un incremento en el rendimiento de la mano de obra del 110% en promedio y elimina el uso de mortero en obra; lo que, a su vez, se traduce en un menor costo de limpieza y acarreo de materiales. Además, la geometría de las piezas facilita la aplicación del sistema BIM, ya que los alveolos se pueden utilizar para colocar las instalaciones eléctricas y sanitarias. En la figura 2 se aprecia lo antes mencionado.

Figura 2:Detalle de armadura interna e instalaciones sanitarias⁵

Sin embargo, resulta importante señalar que a pesar de los beneficios que trae el sistema Previ para el constructor, también existen aspectos negativos. El costo de los bloques supera el ahorro obtenido gracias al aumento de la mano de obra y a la eliminación del mortero, pues, como se mencionó anteriormente, las piezas se deben fabricar a pie de obra. Cabe resaltar que, tras estimar el costo de las piezas elaboradas en una línea de producción, el

⁴ Cfr. INTITEC 1982: 8-10

⁵ Cfr. INTITEC 1982: 9

ahorro total en la construcción de tabiques sería cercano al 3%, lo que no compensa la pérdida de área vendible debido al espesor de los bloques.

2.2 Sistema constructivo Milán

El sistema constructivo Milán toma su nombre de la traba mecánica conocida como Cola de Milano. Esta consiste en dos piezas machihembradas con ranuras y espigos trapezoidales que encajan perfectamente entre sí, lo que permite restringir el desplazamiento en los sentidos longitudinal y perpendicular a su eje. A pesar de haber sido concebido para cumplir la misma función que el Previ, las unidades que forman parte del sistema Milán tienen una configuración muy distinta y su procedimiento constructivo también cambia⁶.

En la figura 3 se presenta la vista en planta de un muro construido con el sistema Milán. En esta se puede apreciar que los ladrillos se apilan en parejas enfrentadas cara con cara, resultando un muro con mayor espesor que las unidades del sistema. Esta forma de asentar los ladrillos crea la Cola de Milano, lo que reemplaza la junta vertical entre unidades.

Figura 3: Vista en planta de sección de muro construido con el sistema Milán.⁷

Mientras que, para eliminar la junta húmeda horizontal, el sistema Previ intercala la mitad de su altura longitudinalmente al muro, los ladrillos Milán se intercalan transversalmente. Es decir, los ladrillos en la parte inferior de la figura 3 han sido asentados media altura más arriba que los de la parte superior. En la figura 4 se aprecia una vista isométrica del sistema constructivo.

⁶ Cfr. Milán

⁷ IDEM

Figura 4: Vista isométrica de una sección de muro construido con el sistema Milán⁸

El beneficio económico que trae el sistema Milán se sustenta en el ahorro de materiales, el aumento del rendimiento de la mano de obra y la limpieza en obra. Sin embargo, a pesar de que la mano de obra avanza considerablemente más rápido que con el sistema tradicional de tabiques, los operarios deben asentar el doble de unidades, pues, virtualmente, son dos muros pegados entre sí. Esta limitación constructiva genera que el ahorro en el costo y tiempo de la elaboración de muros de tabiquería sea mermado considerablemente.

⁸ Cfr. Milán

3 CAPÍTULO II: PRESENTACIÓN DEL SISTEMA ITAL BLOCK

El sistema Ital Block permite eliminar el uso de mortero en la construcción de muros no portantes de albañilería confinada. Este es reemplazado por trabas mecánicas capaces de resistir las solicitaciones externas más rigurosas a las que estarán sometidos los bloques (unidades básicas del sistema).

Para eliminar el mortero horizontal se debe garantizar una traba mecánica en el sentido longitudinal al muro. Dicha condición se logra al asentar la primera fila de bloques intercalando una a una las piezas enteras con sus mitades. En la figura 5 se puede ver lo antes mencionado. Además, se ven los espacios libres donde se debe asentar la segunda fila, la misma que al entrar en su posición ejercerá una ligera presión lateral que será transmitida a las columnas por los bloques que lo confinan. Lo mismo se repite en toda la altura del muro, de modo que el desplazamiento de cada bloque en el sentido longitudinal al muro queda totalmente restringido.

Figura 5:Detalle de asentado de primera fila de bloques con el sistema ITAL Block⁹

Por otro lado, para eliminar el mortero vertical, los bloques cuentan con extremos dentados que encajan perfectamente entre sí. Estos extremos también crean una traba mecánica que evita que los bloques se desplacen y roten en el sentido perpendicular al muro. En la figura 6 se aprecia lo antes mencionado.

⁹ Elaboración propia

Figura 6: Bloque de arcilla ITAL Block visto en planta¹⁰

Cabe resaltar que, para lograr el máximo rendimiento del sistema, la distancia entre columnas debe ser múltiplo de 33.8 cm (la longitud efectiva del bloque). Esto evita la necesidad de cortar las piezas en obra, reduciendo también la polución atmosférica (se deben cortar con disco de corte). Esto debe ser considerado desde la concepción del proyecto.

3.1 Delimitación del alcance

El sistema constructivo de bloques apilables en seco y autoencajables ITAL Block (en adelante ITAL Block) debe ser utilizado únicamente en la construcción de muros de albañilería confinada para tabiques y cercos perimétricos. Esto es a la vez una restricción y un beneficio para el sistema, pues, por un lado, limita su uso para muros no portantes, pero, en contraparte, las exigencias para las trabas mecánicas son menos rigurosas¹¹.

Antes de precisar las normas que respaldan la postura tomada, se procederá a explicar las características del sistema constructivo y las consideraciones que se han tenido para diseñar los bloques de albañilería.

3.2 Características de los bloques

Las características de las unidades se determinaron en base al juicio de expertos en materia de albañilería y a ensayos de campo y laboratorio.

Así, se determinó que la arcilla debe ser el material constituyente del bloque, pues presenta beneficios respecto al concreto y a la sílice-cal en cuanto al peso del muro y a su aislamiento termoacústico. Respecto a esto, el ingeniero Carlos Patiño, experto en materias de albañilería, comenta lo siguiente:

“Los ladrillos de arcilla son considerablemente más livianos y fáciles de manejar que los de concreto y los sílico-calcáreos. Esto puede no resultar tan

¹⁰ IDEM

¹¹ IDEM

obvio, pues considerando únicamente la densidad de los materiales, el más ligero debería ser el bloque silico-calcareo. Sin embargo, debido al proceso de fabricación, el espesor de las paredes de los ladrillos de concreto y silico-calcareos son considerablemente mayores al que se usa en los ladrillos de arcilla, traduciéndose en una diferencia de pesos de cerca de 30% a favor de esta. Además, para unidades del mismo espesor, la arcilla presenta mejor aislamiento termoacústico.” (C.Patiño, comunicación personal, 16 de Noviembre del 2018)

Para lograr alcanzar la geometría final, fue necesario fabricar 5 prototipos, para lo cual, se tuvo en cuenta el ancho del bloque, el rendimiento de la mano de obra y su geometría interna. En el anexo 1 se aprecia la foto de los prototipos.

3.2.1 Ancho del bloque

El señor Armando López-Torres, gerente general de la empresa, nos comunicó que el directorio había determinado que el espesor máximo debía ser de 12 cm, a lo que agregó lo siguiente:

“El constructor no quiere usar ladrillos de más de 12 cm de espesor, por que pierde área vendible. Lo dice la experiencia. Hemos diseñado tres productos para muros, cada uno con distintos espesores desde los 8 hasta los 15 cm y siempre resulta difícil vender las piezas de más de 12 cm”. (A. López-Torres, comunicación personal, 12 de Octubre del 2018)

3.2.2 Rendimiento de mano de obra

La curva del rendimiento de la mano de obra describe una trayectoria similar a una parábola con el vértice hacia arriba, donde el tamaño de las piezas se coloca en el eje horizontal y el rendimiento en el eje vertical. El vértice indica el tamaño de la pieza que genera el mayor rendimiento.

Para elaborar la curva se construyeron 6 muretes, cada uno con bloques 2 cm más grande que el anterior medido diagonalmente para mantener la proporción de la pieza. Esto último responde a una restricción dada por la empresa, ya que, en base a su know-how, esta proporción dimensional le permite mantener una mayor uniformidad en la pasta cerámica, reduciendo problemas en el resto del proceso. (R. Benites, comunicación personal, 21 de octubre del 2018)

Los ensayos se realizaron utilizando piezas desde 29.8 cm de longitud x 17 cm de altura hasta 38.5 x 22 cm. En la figura 7 se observan los resultados obtenidos, donde se refleja el rendimiento óptimo conseguido de 40 m²/día, con piezas de 35 x 20 cm. En la Figura 7 se aprecia la curva de rendimiento obtenida.

Figura 7: Curva de rendimiento según tamaño de prototipo¹²

Cabe resaltar que el costo de fabricación de cada molde bordea los \$ 2000.00, por lo que el ensayo se realizó utilizando bloques de concretos hechos en obra con las mismas dimensiones y peso que los de arcilla.

3.2.3 Geometría interna

La geometría interna de la pieza se pensó para beneficio de la empresa. La distribución y forma de los alveolos permite una mayor eficiencia térmica en los procesos de secado y cocción. Esto se debe a que el calor necesario para dichos procesos es entregado principalmente por convección y los alveolos centrales permiten que el aire caliente fluya con facilidad a través de la pieza.

Por otro lado, la geometría interna que se ha propuesto reduce la merma considerablemente, pues propicia una temperatura más uniforme en los distintos puntos de la pieza, lo que, a su vez, reduce las tensiones internas.

¹² Elaboración propia

En base a esto, el producto final resulta ser un bloque de arcilla de 8 kg con los extremos dentados y con dimensiones de 12 cm de espesor x 20 cm de altura y 35 cm de largo. En la figura 8 se muestra el plano con las medidas expresadas en milímetros.

¹³ Elaboración propia

3.3 Características del sistema

Para validar el sistema constructivo es necesario someterlo a ensayos de mesa vibratoria. Sin embargo, dicha prueba escapa del alcance de la investigación, por lo que nos limitaremos a dar recomendaciones cualitativas en base a lo que se ha observado durante el desarrollo del sistema constructivo.

Para determinar las dimensiones máximas del muro se realizaron 25 ensayos, combinando alturas libres desde 1.6 m hasta 2.4 m y luces libres desde 2.366 m hasta 4.056 m. En la tabla 2.1 se ven los resultados de los ensayos. En esta, las casillas verdes representan a los muros que no tuvieron inconvenientes, mientras que las casillas rojas indican los muros que presentaron problemas de inestabilidad y/o grandes deformaciones elásticas.

Tabla 1: Resultados cualitativos de viabilidad geométrica de los muros¹⁴

		Altura libre (m)				
		1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
Luz libre (m)	2.366					
	2.704					
	3.042					
	3.38					
	3.718					
	4.056					

Cabe resaltar que los muros se confinaron con un marco desmontable hecho de planchas de acero A 36 y recubierto con neopreno de 1 cm de espesor para garantizar la distribución de esfuerzos en las piezas del contorno.

3.4 Normas aplicables al sistema

Toda pieza de albañilería debe cumplir ciertas normas que pueden ser asociadas al material que la conforma, a sus dimensiones o al trabajo que van a desempeñar. En el caso del Ital Block, las normas aplicables son las Norma Técnica Peruana (NTP) 399.613, 331.017, 399.613 y 399.633, así como la norma E070 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). En lo sucesivo se detallan los artículos pertinentes a la investigación.

- La terminología y las definiciones pertinentes para la investigación fueron extraídas de los artículos 3 y 4 de la NTP 399.633 publicada en el 2010.

¹⁴ Elaboración propia

- Ya que las normas existentes indican límites permisibles diferentes, la variación dimensional máxima para las piezas fue tomada como la más rigurosa entre las especificaciones del RNE-E070, artículo 5.2 y la NTP 331.017, artículo 6.1.2. Las tablas 2.2 y 2.3 indican los límites normativos para dichas normas respectivamente.

Tabla 2: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales¹⁵

TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Tabla 3: Máxima variación permisible respecto a las dimensiones nominales¹⁶

Dimensión especificada, mm	Máximas variaciones permisibles respecto a la dimensión especificada, más o menos, mm
Hasta 60, incluido	2.0
Superior a 60 hasta 100, incluido	3.0
Superior a 100 hasta 140, incluido	5.0
Superior a 140 hasta 240, incluido	6.0
Superior a 240 hasta 400, incluido	8.0

El Ital Block está considerado como un Bloque NP en el RNE-E070 y sus dimensiones son 120 x 200 x 350 mm. Así, de la tabla 1 extraemos que las variaciones máximas permisibles son +-7.2 mm para el lado de 120 mm, +- 8 mm para el lado de 200 mm y +- 14 mm para el lado de 350 mm. Por el contrario, para la NTP 331.017, la variación máxima permisible es

¹⁵ RNE-E070 2006: 13

¹⁶ NTP 331.017 2010: 4

de +- 5 mm, para el lado de 120 mm, +- 6 mm para el lado de 200 mm y +- 8 mm para el lado de 350 mm.

Por lo antes mencionado, tomamos como límite máximo dimensional lo estipulado en la NTP 331.017. Sin embargo, dicha norma no contempla el alabeo de las piezas, por lo que se utilizará el límite expresado en el RNE-E070 que corresponde a 8 mm.

- Las unidades no deben contener materias extrañas en su composición, como guijaros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.
- Los bloques no deben presentar eflorescencia
- Según la NTP 331.017, el Ital Block corresponde a un ladrillo tipo 10, para lo cual no hay límite normativo de absorción de agua ni de coeficiente de saturación.
- Los procedimientos de ensayo deben estar de acuerdo a la NTP 399.613

3.4.1 Ensayos de resistencia

Los ensayos de resistencia imputables a los bloques dependen del comportamiento del sistema donde van a ser utilizados. Por esta razón, resulta imprescindible analizar todas las acciones a las que estará sometido el muro, para así determinar qué ensayos se deben realizar a las piezas y los valores mínimos de resistencia que debemos obtener.

La norma E030 estipula que la fuerza horizontal de diseño debe calcularse mediante la ecuación 1 expresadas líneas abajo (artículo 6.3 de dicha norma) y debe ser aplicada como una carga uniformemente distribuida en el área del muro.¹⁷

$$F = \frac{F_i}{P_i} \times C_1 \times P_e \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde F_i es la fuerza lateral en el nivel donde se apoya o se ancla el elemento no estructural, calculada como se indica en el artículo 4.5 de la norma antes mencionada; P_i el peso de dicho nivel, P_e el peso del elemento no estructural y C_1 es un coeficiente de seguridad que depende de la ubicación del elemento en la edificación.

Para determinar el máximo valor que puede tomar la fuerza de diseño, se ha considerado el caso más crítico. Esto corresponde a una edificación cuyo sistema estructural consta de muros de albañilería, con un solo nivel, destinada a uso escolar, ubicada en una zona sísmica

¹⁷ Cfr. RNE E030 2014: 29

4 y con un perfil de suelo blando (Ej. colegio Cambridge de Villa). Para las características antes mencionadas, la fuerza lateral F_i resulta:

$$F_i = \frac{ZUCS}{R} x P = \frac{0.45 x 1.5 x 2.5 x 1.1}{3} x P = 0.61875 x P$$

El valor del coeficiente C_1 se obtiene de la tabla 2.4 de la norma E030 y corresponde a muros y tabiques dentro de la edificación.

Tabla 4: Valores del coeficiente C_1 ¹⁸

Tabla N° 12 VALORES DE C_1	
- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	3,0
- Muros y tabiques dentro de una edificación.	2,0
- Tanques sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas, parapetos en la azotea.	3,0
- Equipos rígidos conectados rígidamente al piso.	1,5

El peso del elemento no portante P_e se obtiene del caso más crítico entre los recomendados en el subcapítulo 2.3 de la presente investigación. Este corresponde a dos columnas de 15 x 15 cm con altura libre de 2.4 m; vigas de 12 x 20 cm con luz libre de 4.056 m y 144 bloques de 8 kg c/u. Así, el peso total resulta:

$$P = 0.15 x 0.15 x 2.6 x 2400 + 0.12 x 0.2 x 4.056 x 2400 + 144 x 8 = 1\,526.03\, Kg$$

Con los datos obtenidos del análisis previo, la fuerza de diseño (F) y la fuerza que actuará en los extremos del bloque (F_e) resultan:

$$F = \frac{0.61875 x P}{F_i} x 3 x 1\,526.03 = 2\,832.69\, Kg$$

$$F_e = \frac{F}{2 x n^{\circ}_{ebloques}} = \frac{2\,832.69}{2 x 144} = 9.84\, Kg$$

¹⁸ Cfr. RNE E030 2014: 30

Cabe resaltar que, por tratarse de una edificación de un nivel, el peso del nivel y el peso total de la edificación se eliminan de la ecuación. El resultado es que cada extremo dentado debe resistir 9.84 Kg en corte y cada pieza debe resistir 19.68 kg como carga puntual en flexión.

En lo que respecta a las cargas gravitacionales, la fuerza de compresión que actuará en el bloque es la resultante del peso de los bloques y de las vigas que se encuentran por encima de él. El caso más crítico es el muro de 2.4 metros de altura con una viga de 12 x 20 cm. En este muro entran 12 ladrillos de alto, cada uno con un peso propio de 8 kg. De esta manera, la fuerza máxima a compresión resulta:

$$F_c = 8 \times 12 + 0.12 \times 0.2 \times 0.338 \times 2400 = 115.47 \text{ Kg}$$

3.4.1.1 Ensayos de resistencia

La flexión en las piezas se produce por la acción de fuerzas ortogonales al plano del muro uniformemente distribuidas en toda su área. Estas pueden ser debidas a diversos factores, siendo el caso más crítico el sismo de diseño.¹⁹

Para determinar la resistencia a la flexión de dichas piezas, se realizó el ensayo según lo estipulado en la NTP 399.613 del 2017. La figura 9 muestra dicho ensayo de forma gráfica. Es importante señalar que la distancia entre apoyos fue escogida en base a la norma antes mencionada, así como la velocidad con la que incrementa la carga.

Figura 9: Representación gráfica del ensayo a flexión²⁰

¹⁹ Cfr. RNE E070 2006: 52

²⁰ Elaboración propia

En la figura 10, en cambio, se muestran los resultados del ensayo de flexión. Este fue realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con una máquina de ensayo uniaxial marca TONI TECHNIK con certificado de calibración LFP-221-2017. En esta muestra que la carga de rotura de mínima que resistió la pieza fue de 1528 kg, superando con creces la acción sísmica de 19.68 kg.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

ABET
Accredited by the American Society of Testing and Materials (ASTM)

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales
A : ITAL GRES INDUSTRIAL SAC
Obra : CONTROL DE CALIDAD
Ubicación : AV. LA CAPITANA Mz L Lote 9 HUACHIPA LURIGANCHO
Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en unidades de Albañilería
Expediente N° : 18-1151
Recibo N° : 59930
Fecha de emisión : 20/11/2018

1.0 DE LA MUESTRA : Ladrillo "al Block" de arcilla con los alveolos perpendiculares a la cara de asiento, marca ITAL

2.0 DEL EQUIPO : Máquina de ensayo uniaxial, TONI TECHNIK
Certificado de calibración: LFP-227-2017

3.0 MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.613:2017
Procedimiento interno AJ-PR-08

4.0 RESULTADOS : Fecha de ensayo, 21 de Noviembre del 2018

MUESTRAS	DIMENSIONES (mm)			ÁREA BRUTA (mm ²)	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	
	LARGO	ANCHO	ALTURA		(kg)	(N)	(KG/CM ²)	(MPA)
M-1	349	119	199	69451	1574	15441	2.27	0.22
M-2	352	121	201	70752	1852	18452	2.66	0.26
M-3	351	120	200	70200	1878	18423	2.68	0.26
M-4	350	119	199	69650	1528	14990	2.19	0.22
M-5	350	120	200	70000	1917	18806	2.74	0.27
PROMEDIO=							2.51	0.25

5.0 OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
*Resistencia a la compresión corregida por el coeficiente de relación entre la resistencia a la compresión de unidades de albañilería enteras y medias unidades, indicando en el Anexo A de la NTP 399.613

Hecho por : Ing. M. A. Tejeda S.
Técnico : Sr. R. V. M.

Notas:
1) Esta prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

Ms. Ing. Ana Torre Camilo
Jefe (a) del laboratorio

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343
(511) 481-1070 Anexo: 306

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayos
de Materiales - UNI

ISO 9001

Figura 10: Resultados del ensayo a flexión²¹

²¹ Cfr. UNI 1918: 1

3.4.1.2 Ensayos de resistencia

Tal como en el caso de la flexión, la fuerza de corte en los extremos de las piezas es producida por el sismo de diseño. Cabe resaltar que en el Perú no existen ensayos para determinar la resistencia al corte en piezas de albañilería, por lo que se ha propuesto una metodología propia.

Los componentes necesarios para realizar dicho ensayo se ven en la figura 11. En la parte central se observa un gato hidráulico, sobre este un manómetro analógico y en la parte inferior un marco de acero.

Figura 11: Componentes de la prensa para realizar el ensayo a corte²²

El émbolo del gato hidráulico tiene un área de 14.657 cm² y el manómetro que se ha colocado tiene una lectura máxima de 17 Bar. De esto se deduce que la máxima fuerza que es capaz de ejercer el gato hidráulico sin exceder la capacidad del manómetro es de 254 kg. A pesar de que la magnitud de dicha fuerza no es muy elevada, supera a la fuerza esperada que se estimó en el subcapítulo 2.4.1.

²² Elaboración propia

Por otro lado, el marco de acero sirve para transmitir la fuerza del gato hidráulico a los extremos de la pieza. Este está conformado por dos marcos verticales que tienen la forma exacta de los extremos dentados de la pieza y una barra cuadrada horizontal de 1" x 1" x 364 mm de longitud que los une. Cabe resaltar que la fuerza total que ejerce el gato hidráulico ha sido aplicada en un ancho de 1". En la figura 12 se puede observar el aparato de ensayo en funcionamiento.

Figura 12: Ensayo de resistencia al corte²³

Es importante mencionar que se ha considerado para la velocidad con la que incrementa la carga el mismo valor que utiliza la ASTM C67 para el ensayo de compresión. Este dice que se aplica la carga hasta la mitad de la carga máxima esperada, a cualquier velocidad conveniente, después, ajustar la máquina para que la carga remanente sea aplicada con una tasa uniforme en no menos de 1 y no más de 2 minutos.

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 2.5, donde se puede apreciar que la carga de rotura mínima que resiste la pieza (aplicada en cada extremo) es de 127.05 kg, lo que supera con gran margen de holgura a la fuerza máxima esperada de 9.84 kg en cada extremo. Es importante señalar que los dientes no se rompieron en ningún caso debido a que el manómetro alcanzó su máxima capacidad (por eso la carga aplicada en cada muestra fue la misma)

²³ Elaboración propia

Tabla 5: Resultado de ensayos a corte²⁴

Muestras	Longitud efectiva resistente (mm)	Ancho del marco (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA MÍNIMA AL CORTE	
				(Kg)	(Kg/cm ²)	(Mpa)
M-1	91.2	25	2280	254.1	11.145	0.111
M-2	91.3	25	2282.5	254.1	11.133	0.111
M-3	91.1	25	2277.5	254.1	11.157	0.112
M-4	91.2	25	2280	254.1	11.145	0.111
M-5	91.2	25	2280	254.1	11.145	0.111

3.4.1.3 Ensayos de resistencia

La compresión en las piezas se produce por la acción de fuerzas de gravedad. En el caso de tabiques su propio peso y alguna carga viva originada por elementos apoyados como televisores o repisas.

Para determinar la resistencia a la compresión de cada pieza, se realizó el ensayo según lo estipulado en la NTP 399.613 del 2017.

La resistencia individual a compresión axial de una unidad de albañilería (f'_b) se obtiene dividiendo la carga máxima entre el área bruta de la sección transversal.

$$f_b = \frac{P_{max}}{\text{Área}}$$

Donde:

$$f_b = \text{Resistencia a compresión axial} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \text{ o MPa}$$

$$P_{max} = \text{Fuerza máxima que resiste la unidad de albañilería (kg)}$$

$$\text{Área} = \text{Área bruta transversal (cm}^2\text{)}$$

Al valor promedio se le resta la desviación estándar

$$f'_b = f_b - \sigma$$

Donde:

$$f_b = \text{Resistencia a compresión axial} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \text{ o MPa}$$

²⁴ Elaboración propia

$$f'_b = \text{Resistencia característica a compresión axial} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \text{ o MPa}$$

$$\sigma = \text{Desviación estándar}$$

En la figura 13 se muestran los resultados de f_b que se obtuvieron de los ensayos de laboratorio.

Siendo la desviación estándar = 0.1614 y f_b promedio = 16.6 MPa

Con lo cual $f'_b = 16.6 - 0.1614$

$$f'_b = 16.4 \text{ MPa}$$

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GÓNZALEZ DE LA COTERA"

Engineering Technology Accredited Commission

INFORME

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales

A : ITAL GRES INDUSTRIAL SAC

Obra : CONTROL DE CALIDAD

Ubicación : AV. LA CAPITANA Mz L Lote 9 HUACHIPA LURIGANCHO

Asunto : Ensayo de Resistencia a la Compresión en unidades de Albañilería.

Expediente N° : 18-1151

Recibo N° : 59930

Fecha de emisión : 20/11/2018

1.0 DE LA MUESTRA : Ladrillo Ital Block de arcilla con los alveolos paralelos a la cara de asiento, marca ITAL

2.0 DEL EQUIPO : Maquina de ensayo uniaxial, TOKYOKOKI SEIZOSHO
Certificado de calibración: CMC-051-2017

3.0 MÉTODO DE ENSAYO : Norma de referencia NTP 399.613:2005
Procedimiento interno AT-PR-09

4.0 RESULTADOS : Fecha de ensayo, 20 de Noviembre del 2018

MUESTRAS	DIMENSIONES (mm)			ÁREA BRUTA (mm ²)	CARGA MÁXIMA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	
	LARGO	ANCHO	ALTURA		(kg)	(N)	(KG/CM ²)	(MPA)
M-1	348	118	199	41064	47498	465955	115.7	11.4
M-2	353	121	201	42713	53089	520803	124.3	12.2
M-3	350	120	199	42000	50389	494316	120.0	11.8
M-4	350	119	200	41650	49293	483584	118.4	11.6
M-5	351	120	200	42120	51280	503057	121.8	11.9
PROMEDIO=							120.0	11.8

5.0 OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

*Resistencia a la compresión corregida por el coeficiente de relación entre la resistencia a la compresión de unidades de albañilería enteras y medias unidades, indicando en el Anexo A de la NTP 399.613

Hecho por : Ing. M. A. Tejada S.
Técnico : Sr. R. V. M.

Ms. Ing. Ana Torre Carrillo
Jefe (a) del laboratorio

Notas:
1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso.
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 – Perú

(511) 381-3343
(511) 481-1070 Anexo: 306

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe

Laboratorio de Ensayos de Materiales – UNI

Figura 13: Resultados del ensayo a compresión ²⁵

²⁵ Cfr. UNI 2018: 2

5 CAPÍTULO III: PRUEBA EMPÍRICA DEL SISTEMA

Los ensayos expuestos en el subcapítulo anterior validan al sistema Ital Block de forma técnica. Sin embargo, para que sea utilizado en la realidad no basta con que tenga solvencia técnica, sino también económica. Por dicha razón, en el presente capítulo se presenta la documentación de la construcción de un muro y el rendimiento obtenido en cada etapa del proceso.

Cabe resaltar que este último puede verse afectado por muchos factores (ej. personal, clima, ubicación), por lo que a continuación se detallan las condiciones con las que se ha trabajado:

- La construcción del muro demandó de dos personas, un operario y un ayudante. Este último, sin embargo, solo realizó trabajos el 40% del tiempo, por lo que se puede considerar que la cuadrilla es de 1 operario y 0.5 peones.
- Las herramientas manuales utilizadas fueron un nivel de mano de 30 cm de longitud, 5 metros de cordel, un cilindro metálico (fondo de barril), una espátula y un martillo de goma
- La localidad donde se llevó a cabo la construcción fue Huachipa- Lima- Perú, a 384 m.s.n.m.; desde las 9:00 a.m. hasta las 10:30 a.m., con una radiación solar de 8, temperatura de 25 °C y humedad relativa de 83%. El lugar no se encuentra resguardado contra el sol directo ni contra el viento.

5.1 Documentación de la construcción y medición de rendimientos

Con la finalidad de aumentar el intervalo de confianza del estudio, se construyó el muro cuyas dimensiones proporcionan la mayor cantidad de piezas asentadas (sin hacer uso de andamios). Como resultado, se utilizaron 75 bloques enteros y 10 mitades, con altura libre de 1.6 m y luz libre de 3.38 m. Para este caso, corresponden columnas de 15 x 15 cm y una viga superior de 12 x 20 cm.

El procedimiento constructivo que se va a describir a continuación corresponde únicamente al asentado de las piezas y no considera la elaboración de los cimientos, columnas y vigas. Además, se ha considerado que las piezas se encuentran ubicadas a menos de 3 metros de su posición final, por lo que no existe acarreo vertical ni horizontal. Esto debe considerarse aparte, pues depende de las características de cada obra. Cada paso descrito será acompañado de fotos que permitan entender el proceso a cabalidad, así como de su tiempo de ejecución.

En el escenario inicial se observan dos rumas de bloques, a la derecha las piezas enteras (75 unidades) y a la izquierda las medias piezas (10 unidades). Además, al centro se observa la armadura de las columnas de confinamiento y el trazo del muro.

Figura 14: Espacio donde se construyó el muro²⁶

5.1.1 Paso 1: Preparación y colocación del mortero

A pesar de tratarse de un sistema de juntas secas, es necesario colocar mortero en la superficie donde va a apoyarse el muro, pues este permite nivelar la primera hilada de bloques y garantiza que el muro sea construido con total verticalidad. En la figura 15 se observa el mortero colocado.

Figura 15: Operario colocando el mortero en la primera hilada²⁷

²⁶ Elaboración propia

²⁷ Elaboración propia

Durante este proceso, el ayudante se encargó de preparar el mortero, actividad que le tomó tres minutos. Por otro lado, el operario se encargó únicamente de colocar el mortero, actividad que le tomó 50 segundos. En total el proceso demoró 2 minutos con 50 segundos.

5.1.2 Paso 2: Limpieza de rebabas

Debido al proceso productivo, los bloques tienen rebabas de arcilla cocida en la parte superior e inferior de los extremos dentados. El ayudante debe limar dichas rebabas con una varilla de construcción de 3/8" antes de entregarlas al operario. Esta actividad se realiza durante todo el proceso, al mismo tiempo que se entregan las piezas al operario. En la figura 16 se aprecia el proceso de limado antes mencionado.

Figura 16: Limado de rebabas²⁸

El tiempo empleado por el ayudante para retirar todas las rebabas de las piezas y entregarlas al operario fue de 27 minutos.

5.1.3 Paso 3: Asentado de primera hilada de bloques

Los bloques se deben asentar desde los extremos hacia el centro con la finalidad que al entrar la última pieza ejerza una ligera presión hacia los costados, garantizando la traba mecánica.

²⁸ Elaboración propia

Además, es importante que las piezas se coloquen siguiendo una trayectoria vertical desde arriba hacia abajo, de lo contrario, el mortero será desplazado y ocupará el espacio destinado para los dientes. Esto puede ocasionar una notable pérdida en la efectividad de la traba mecánica. En la figura 17 se ve la primera hilada de bloques asentados.

Figura 17: Primera hilada de bloques asentados, antes de su nivelación²⁹

Este proceso tomó 6 minutos con 42 segundos de trabajos realizados por el operario. al operario fue de 27 minutos.

5.1.4 Paso 4: Nivelación y alineamiento de la primera hilada de bloques

Como se mencionó anteriormente, la alineación y nivel de los bloques es de suma importancia, pues en adelante no existe mortero que corrija las imperfecciones. Por esta razón es importante invertir tiempo en garantizar que la primera hilada de bloques ha sido asentada correctamente. En la figura 18 se aprecian los bloques perfectamente alineados y nivelados. Para lograrlo, una vez colocados se han golpeado ligeramente con el martillo de goma.

²⁹ Elaboración propia

Figura 18: Nivelación de primera hilada de bloques³⁰

El tiempo empleado por el operario en este trabajo fue de 6 minutos con 27 segundos.

5.1.5 Paso 5: Asentado de bloques en las filas intermedias

A partir de la segunda hilada solo deben asentarse bloques enteros (hasta llegar a la altura requerida). Estos deben ser colocados en las hendiduras creadas por las medias piezas colocadas en la parte inferior y se deben colocar con un movimiento vertical, desde arriba hacia abajo, dando ligeros golpes con el martillo de goma. En la figura 19 se ve el muro en la etapa intermedia del presente paso (izquierda) y en la etapa final (derecha).

Figura 19: Muro a media altura y muro con altura completa³¹

³⁰ Elaboración propia

³¹ Elaboración propia

El tiempo empleado por el operario fue de 50 minutos con 25 segundos.

5.1.6 Paso 6: Asentado de bloques en la fila superior

La fila superior debe ser asentada con medias piezas para que la altura final del muro se empareje. Estas piezas se deben colocar de la misma manera que en el paso anterior. En la figura 20 se aprecia la culminación del asentado de las piezas.

Figura 20: Muro con altura completa y medias piezas colocadas³²

El proceso tomó 1 minuto con 55 segundos.

Para dar como terminado el muro, aunque no compete medir los rendimientos de estas actividades, se vaciaron las columnas y la viga solera. En la figura 21 se puede observar el muro terminado. Cabe resaltar que el muro de esta figura no es el mismo que el muro en el que se han medido los rendimientos, pues por disponibilidad de espacio no se podía vaciar las columnas en el lugar donde se realizaron las mediciones.

Figura 21: Muro terminado³³

³² Elaboración propia

³³ Elaboración propia

5.2 Interpretación de datos obtenidos y análisis de resultados

El tiempo total empleado en el asentado de las piezas fue de 75 minutos. Durante el cual, el operario realizó un trabajo continuo. Sin embargo, el ayudante tuvo un tiempo muerto de 49 minutos. De lo antes mencionado se desprende que la cuadrilla debe estar conformada por dos operarios y un ayudante o, lo que es lo mismo para efectos de costos, un operario y 0.5 ayudantes.

El muro construido consta de 75 bloques enteros y 10 mitades, resultando en un área de albañilería de 5.408 m². En la tabla 6 presentada a continuación se resume cada uno de los pasos descritos en el subcapítulo anterior. Los tiempos empleados se presentan en segundos y el avance obtenido en m². Además, en base a estos datos se puede calcular el rendimiento de la mano de obra de cada paso y, así, ponderarlos para obtener el rendimiento global.

Tabla 6: Resumen de actividades y cálculo del rendimiento³⁴

Paso	Tiempo empleado (seg)	Tiempo acumulado (seg)	Tiempo acumulado (horas)	Cantidad de bloques asentados	Área construida (m ²)	Área construida acumulada (m ²)	Rendimiento (m ² /día)
1	120	120	0.033	-	-	-	-
2	1620*	120	0.033	-	-	-	-
3	402	522	0.145	-	-	-	-
4	387	960	0.267	7.5	0.507	0.507	37.730
5	3025	4380	1.217	70.0	4.732	5.239	45.052
6	115	4500	1.25	2.5	0.169	5.408	42.323
							44.28

³⁴ Elaboración propia

6 CAPÍTULO IV: COMPARACIÓN DE COSTOS DE ELABORACIÓN DE MUROS NO PORTANTES

Una de las metodologías más utilizadas en la ingeniería civil para la determinación de costos es el análisis de precios unitarios (APU). En este se colocan datos como el rendimiento de la mano de obra y de los equipos, los materiales a utilizar y los equipos necesarios. Esta metodología permite conocer los costos de cada partida por unidad de control y, al sumarlos, obtener el costo total del proceso.

Para realizar una comparación legítima, se costeará un muro con las mismas dimensiones que las utilizadas en la prueba empírica del capítulo 3. Se supondrá que el muro a construir tiene una altura libre de 1.6 m y una luz libre de 3.38 metros. Además, se supondrá que el muro será un tabique, por lo que se apoyará directamente en la losa de la edificación. Por último, se supondrá que no existe acarreo vertical ni horizontal, pues todos los materiales se encuentran a menos de 3 metros de distancia del muro.

6.1 Sistema constructivo tradicional

En el sistema constructivo tradicional se utilizan ladrillos de arcilla llamados Pandereta. El ladrillo escogido para este análisis tiene 9 cm de alto, 10.5 cm de ancho y 22.5 cm de largo (las medidas pueden cambiar ligeramente en función del proveedor). A su vez, la junta de mortero que se utilizará será de 1.5 cm de espesor.

6.1.1 Cálculo de materiales

La cantidad de ladrillos que entra en un metro cuadrado se obtiene al dividir dicha área entre las dimensiones de la pieza (considerando la mitad de la junta del mortero a cada lado):

$$\frac{1 \text{ m}^2}{0.105 \text{ m} \times 0.24 \text{ m}} = 39.683 \text{ und}$$

La cantidad de cemento, arena gruesa y agua utilizada se calculó en base a las proporciones típicas del mortero 1:5. Primero se calculó el volumen de mortero utilizado y, en base a eso, se calcularon los materiales que lo conforman. A continuación se muestra el procedimiento:

En un metro cuadrado de muro hay 0.105 m³ de muro:

$$\frac{1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.105 \text{ m}}{1 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = \frac{0.105 \text{ m}^3}{\text{m}^2}$$

Restamos el volumen de ladrillos que hay en un metro cubico de muro para calcular el volumen de mortero que hay en un metro cuadrado de muro:

$$0.105 \text{ m}^3 - (39.683 \text{ und} \times 0.105 \text{ m} \times 0.09 \text{ m} \times 0.225 \text{ m}) = \frac{0.020625 \text{ m}^3_{\text{mortero}}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

Calculamos la cantidad de cemento necesario sabiendo que se necesitan 7.4 bolsas de cemento para 1 m³ de mortero:

$$\frac{7.4 \text{ bls}}{1 \text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.020625 \text{ m}^3}{\text{m}^2_{\text{muro}}} = \frac{0.153 \text{ bls}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

$$\frac{1.05 \text{ m}^3_{\text{arena}}}{1 \text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.020625 \text{ m}^3}{\text{m}^2_{\text{muro}}} = \frac{0.0217 \text{ m}^3_{\text{arena}}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

$$\frac{0.00061875 \text{ m}^3_{\text{agua}}}{1 \text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.020625 \text{ m}^3}{\text{m}^2_{\text{muro}}} = \frac{0.03 \text{ m}^3_{\text{agua}}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

6.1.2 Elaboración del APU

En base a experiencias propias de la empresa, el rendimiento de una cuadrilla conformada por 2 operarios y 1 peón es de 21 m²/día. Se considera, además, que un capataz es capaz de supervisar a 10 cuadrillas, por lo que se coloca como 0.10. Así, la tabla 7 muestra el análisis de precios unitarios para la construcción de un muro de pandereta con amarre de sogas y espesor de junta de 1.5 cm.

Tabla 7: Análisis de precios unitarios para el sistema Pandereta³⁵

MURO KK DE AMARRE TIPO SOGA E=1.5cm						S/. 42.01
RENDIMIENTO:						
m2/Dia	M.O.	21.00	EQ		Costo unitario por	m2
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
MANO DE OBRA						20.10
Capataz	hh	0.10	0.038	22.04	0.84	
Operario	hh	2.00	0.762	18.36	13.99	
Peon	hh	1.00	0.381	13.84	5.27	
MATERIALES						20.91
Pandereta 9 X 10.5 X 22.5	und		39.683	0.41	16.14	
Cemento	bls		0.153	21.00	3.21	
Agua	m3		0.030	15.00	0.45	
Arena gruesa	m3		0.022	50.85	1.10	
EQUIPOS						1.01
Herramientas	% M.O.		5%	20.10	1.01	

6.1.3 Otros costos asociados

Los otros costos asociados a la elaboración de tabiques de pandereta son las columnas y las vigas. Para las dimensiones del muro que se está analizando las columnas deben ser de 15 x 15 cm, con 4 varillas longitudinales de 3/8" y estribos de 6 mm cada 15 cm. Las vigas, en cambio, deben ser de 12 x 20 cm, con 4 varillas longitudinales de 3/8" y estribos de 6 mm cada 15 cm. Los APUS de concreto, encofrado, acero y curado son los mismos para cualquiera de los procesos que se está comparando, por lo que no se detallan en la investigación. Se pueden ver con detalle en el anexo 2. En la tabla 8 se detallan todos los costos asociados a la construcción del pórtico de confinamiento.

³⁵ Elaboración propia

Tabla 8: Resumen de costos asociados al pórtico de confinamiento del muro³⁶

Descripción	Unidad	Cantidad	PU (S/.)	Parcial (S/.)
Concreto para columnas $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.081	266.70	21.60
Encofrado y desencofrado en columnas	m2	1.62	64.76	104.92
Acero corrugado en columnas	kg	11.664	4.35	50.79
Curado de columnas con aditivo químico	m2	1.62	1.68	2.73
Concreto para vigas $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.0883	260.25	22.99
Encofrado y desencofrado en vigas	m2	0.883	65.09	57.48
Acero corrugado en vigas	kg	12.243	4.05	49.53
Curado de vigas con aditivo químico	m2	0.883	1.68	1.49
				311.53

El costo total de elaboración del muro con ladrillo pandereta será de S/. 538.72, sin incluir el IGV.

6.2 Sistema constructivo Ital Block

Como se ha visto en el capítulo anterior, el sistema está conformado por bloques de arcilla que no requieren mortero más que en la primera hilada.

6.2.1 Cálculo de materiales

La cantidad de ladrillos que entran en un metro cuadrado se obtiene al dividir dicha área entre las dimensiones de la pieza. A continuación se muestra el procedimiento:

$$\frac{1 \text{ m}^2}{0.338 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}} = 14.793 \text{ und}$$

La cantidad de cemento, arena gruesa y agua utilizada se calculó en base a las proporciones típicas del mortero 1:5. Además, tomando en cuenta que solo se utiliza mortero en la primera hilada, se ha prorrateado el volumen total del mortero utilizado entre el área total de las unidades de albañilería. A continuación, se muestra el procedimiento:

$$80 \text{ und} \times 0.338 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} = 5.408 \text{ m}^2_{\text{muro}}$$

³⁶ Elaboración propia

$$0.02\text{ m} \times 3.38\text{ m} \times 0.12\text{ m} = 0.008112\text{ m}^3 \dots \text{Volúmen de mortero}$$

$$\frac{7.4\text{ bls}}{1\text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.008112\text{ m}^3_{\text{mortero}}}{5.408\text{ m}^2_{\text{muro}}} = 0.0111 \frac{\text{bls}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

$$\frac{1.05\text{ m}^3_{\text{arena}}}{1\text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.008112\text{ m}^3_{\text{mortero}}}{5.408\text{ m}^2_{\text{muro}}} = 0.001575 \frac{\text{m}^3_{\text{arena}}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

$$\frac{0.00061875\text{ m}^3_{\text{agua}}}{1\text{ m}^3_{\text{mortero}}} \times \frac{0.008112\text{ m}^3_{\text{mortero}}}{5.408\text{ m}^2_{\text{muro}}} = 9.28\text{ E} - 07 \frac{\text{m}^3_{\text{agua}}}{\text{m}^2_{\text{muro}}}$$

6.2.2 Elaboración del APU

Con los datos obtenidos, se puede proceder a realizar el APU. Es importante tener en cuenta que el uso de las herramientas manuales es insignificante, por lo que se ha asumido que su costo representa el 1% de la mano de obra. Por último, el rendimiento de la mano de obra fue calculado en el capítulo anterior. Así, la tabla 7 muestra el análisis de precios unitarios para la construcción de un muro con el sistema Ital Block.

Tabla 9: Análisis de precios unitarios para el sistema Ital Block con pórtico de confinamiento³⁷

MURO KK DE AMARRE TIPO SOGA E=1.5cm						S/. 25.10
RENDIMIENTO:						
m2/Día	M.O.	88.56	EQ		Costo unitario por	m2
DESCRIPCION DEL RECURSO	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
MANO DE OBRA						4.77
Capataz	hh	0.10	0.009	22.04	0.20	
Operario	hh	2.00	0.181	18.36	3.32	
Peon	hh	1.00	0.090	13.84	1.25	
MATERIALES						20.28
Ladrillo Ital Block	und		14.793	1.35	19.97	
Cemento	bls		0.011	21.00	0.23	
Arena gruesa	m3		0.002	50.85	0.08	
EQUIPOS						0.05
Herramientas	% M.O.		1%	4.77	0.05	

³⁷ Elaboración propia

6.2.3 Otros costos asociados

Las características de las columnas y vigas son exactamente iguales al caso del sistema tradicional, por lo que el costo de dichas partidas es el mismo. El costo total del muro con el sistema Ital Block es de S/. 447.27.

7 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los bloques que conforman al sistema Ital Block cumplen con todas las normas aplicables, dando principal énfasis a los ensayos de resistencia. Las solicitaciones a corte, compresión y flexión fueron superadas notoriamente, lo que representa un buen indicio para saber si el sistema se va a comportar correctamente ante el ensayo de mesa sísmica.

El rendimiento de la mano de obra se incrementó en un 321.7%, ocasionando que este costo disminuya en la misma proporción. Sin embargo, el costo de materiales y equipos se mantuvo casi idéntico. Este aumento de rendimiento se traduce en una disminución del costo por metro cuadrado de albañilería de 40.25%. Sin embargo, si consideramos también el costo de los elementos de confinamiento, el ahorro total de la obra se reduce a 16.98%.

Las horas hombre (HH) se reducen un 76.2% debido al aumento en el rendimiento de la mano de obra.

En la investigación no se ha considerado la reducción de costos debido al acarreo en obra, pues depende de las características únicas de cada proyecto. Es lógico que el costo de esta actividad se reduzca considerablemente, pues se debe transportar menos cemento, arena y agua, mientras que los metros cúbicos brutos las unidades de albañilería a transportar son los mismos.

El costo debido a la limpieza se reduce notablemente, pues el sistema Ital Block no genera desperdicios. Sin embargo, por la misma razón que con el acarreo, no se ha incorporado esta actividad en el análisis económico.

El costo de las instalaciones eléctricas y de agua se reduce, pues no es necesario picar los muros para pasar las tuberías de hasta 1 ½". Nuevamente, el costo es incuantificable.

La procura (look ahead de materiales), disponibilidad de espacio en obra y operación del almacén se facilitan, pues el sistema constructivo Ital Block necesita un solo tipo de material (la cantidad de mortero que utiliza en la primera fila de ladrillos es muy pequeña y puede considerarse despreciable).

El sistema Ital Block consta de piezas modulares cuyo correcto uso facilita la aplicación de la metodología BIM.

Se recomienda realizar el ensayo de mesa vibratoria para validar el sistema constructivo desde el punto de vista técnico.

8 REFERENCIAS

- BOTERO, Luis y ÁLVAREZ, Martha (2005) Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción, pp. 148-159. En: revista Ingeniería y Desarrollo, No 17. (Fecha de consulta: 31 de setiembre del 2018)
- CÁMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN (CAPECO) (2014) Proyecto de norma E.030 Diseño sismorresistente. Lima: CAPECO
- CÁMARA PERUANA DE LA CONSTRUCCIÓN (CAPECO) (2006). RNE- Norma E.070 Albañilería. Lima: CAPECO
- CORCUERA, Mónica (2009). Estudio de investigación para el desarrollo de viviendas sociales de bajo coste en la ciudad de Lima – Perú. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- DEFINICIÓN ABC (2011) (<http://www.definicionabc.com/social/proactivo.php>) Sitio web con definiciones de diversos campos académicos de estudio. (Fecha de consulta: 05 de noviembre de 2018)
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA Y DE NORMAS TÉCNICAS (INTITEC) (1982). Lima: INTITEC
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – INEI (2011) (Fecha de consulta: 19 de octubre de 2018) (www.inei.gob.pe)
- INSTITUTO NACIONAL DE LA CALIDAD (INACAL) (2010). NTP 399.633: 2010. Unidades de albañilería. Nomenclatura y terminología en albañilería. Lima: INACAL
- INSTITUTO NACIONAL DE LA CALIDAD (INACAL) (2014). NTP 331.017: 2003 (revisada el 2015). Unidades de albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos. Lima: INACAL

- INSTITUTO NACIONAL DE LA CALIDAD (INACAL) (2017). NTP 399.613: 2017. Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Segunda edición. Lima: INACAL
- PROGRAMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO – CYTED–D (2011) Vivienda Latinoamericana (Fecha de consulta: 14 de octubre de 2018).(http://www.yorku.ca/hdrnet/images/uploaded/Vivienda_CYTED.pdf)
- REVERSO (2011) Diccionario Reverso (Fecha de consulta: 19 de octubre) (<http://diccionario.reverso.net/aleman-espanol/Plattenbau>)
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (UNI) (2018). Informe de ensayos a flexión y compresión. Ladrillo Ital Block de arcilla marca ITAL.. Lima : UNI
- UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS (UPC) (2015) (<http://www.upc.edu.pe/facultades/area-de-humanidades/normas-para-referir-fuentes-de-informacion>) Sitio web oficial de la UPC; contiene información sobre referencias bibliográficas (consulta: 19 de diciembre de 2018)
- VERDÉS, Felipe (2002). Talleres Felipe Verdés : Maquinaria para la industria ladrillera. Barcelona
- WWW.YOUTUBE.COM (2018) (<https://www.youtube.com/watch?v=ccHDIJutDU>). Sitio web; contiene información audiovisual sobre el ladrillo de juntas secas Milán (consulta: 08 de Octubre del 2018).
- WWW.YOUTUBE.COM (2018) (<https://www.youtube.com/watch?v=Rb19kAlultg&t=66s>). Sitio web; contiene información audiovisual sobre el ladrillo de juntas secas Milán (consulta: 08 de Octubre del 2018).

9 ANEXOS

9.1 ANEXO 1: Fotos de prototipos

Prototipo #1

Prototipo #2

Prototipo #3: Bloque definitivo

Prototipo #4: Para albañilería armada

9.2 ANEXO 2: APU de otras partidas

ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS						
m2/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m2		65.09	
Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh		0.1000	0.0667	22.04	1.469
OPERARIO	hh		1.0000	0.6667	18.36	12.240
PEON	hh		2.0000	1.3333	13.84	18.453
						32.163
Materiales						
ALAMBRE NEGRO RECOCID	kg			0.2000	2.35	0.470
CLAVOS PARA MADERA COI	kg			0.1000	2.88	0.288
MADERA TORNILLO	p2			3.3000	9.26	30.558
						31.316
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALE	%mo			5%	32.16	1.608
						1.608

CURADO CON ADITIVO QUIMICO EN CONCRETO						
m2/DIA	MO. 180.0000	EQ. 180.0000	Costo unitario directo por : m2		1.68	
Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
OPERARIO	hh		0.5000	0.0222	18.36	0.408
PEON	hh		1.0000	0.0444	13.84	0.615
						1.023
Materiales						
SIKA ANTISOL (balde de 18 bal				0.0011	600.00	0.660
						0.660

ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60						
kg/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : kg		4.05	
Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh		0.1000	0.0032	22.04	0.071
OPERARIO	hh		0.5000	0.0160	18.36	0.294
OFICIAL	hh		1.0000	0.0320	15.39	0.492
PEON	hh		1.0000	0.0320	13.84	0.443
						1.300
Materiales						
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg			0.0250	4.66	0.117
ACERO CORRUGADO fy = 42	kg			1.0300	2.49	2.565
						2.681
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALE	%mo			5%	1.30	0.065
						0.065

CONCRETO COLUMNAS f'c=175 kg/cm2						
m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3		266.70	
Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh		0.5000	0.2000	22.04	4.408
OPERARIO	hh		4.0000	1.6000	18.36	29.376
OFICIAL	hh		1.0000	0.4000	15.39	6.156
PEON	hh		5.0000	2.0000	13.84	27.680
						67.620
Materiales						
PIEDRA HUSO 57.	m3			0.3840	35.00	13.440
ARENA GRUESA	m3			0.3140	52.00	16.328
AGUA PUESTA EN OBRA	m3			0.2020	15.00	3.030
CEMENTO PORTLAND TIPO bol				5.7500	16.78	96.485
						129.283
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALE %mo				5%	67.62	3.381
VIBRADOR PARA CONCRET	hm		1.3635	0.5454	11.76	6.414
AUTOHORMIGONERA CARN	hm		1.0000	0.4000	150.00	60.000
						69.795

CONCRETO VIGAS f'c=175 kg/cm2						
m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3		260.25	
Descripción Recurso	Unidad		Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh		0.5000	0.2000	22.04	4.408
OPERARIO	hh		3.0000	1.2000	18.36	22.032
OFICIAL	hh		1.0000	0.4000	15.39	6.156
PEON	hh		5.0000	2.0000	13.84	27.680
						60.276
Materiales						
PIEDRA HUSO 57.	m3			0.3840	35.00	13.440
ARENA GRUESA	m3			0.3140	52.00	16.328
AGUA PUESTA EN OBRA	m3			0.2020	15.00	3.030
CEMENTO PORTLAND TIPO bol				5.7500	16.78	96.485
						129.283
Equipos						
VIBRADOR PARA CONCRET	hm		2.2725	0.9090	11.76	10.690
AUTOHORMIGONERA CAR	hm		1.0000	0.4000	150.00	60.000
						70.690

ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60						
kg/DIA	MO. 250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : kg		4.35	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	22.04	0.071	
OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	18.36	0.588	
OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	15.39	0.492	
PEON	hh	1.0000	0.0320	13.84	0.443	
					1.593	
Materiales						
ALAMBRE NEGRO N° 16	kg		0.0250	4.66	0.117	
ACERO CORRUGADO fy = 42	kg		1.0300	2.49	2.565	
					2.681	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALE %mo			5%	1.59	0.080	
					0.080	

ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS						
m2/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000	Costo unitario directo por : m2		64.76	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0667	22.04	1.469	
OPERARIO	hh	1.0000	0.6667	18.36	12.240	
PEON	hh	2.0000	1.3333	13.84	18.453	
					32.163	
Materiales						
ALAMBRE NEGRO RECOCID	kg		0.2000	2.35	0.470	
CLAVOS PARA MADERA COL	kg		0.1000	2.88	0.288	
MADERA TORNILLO	p2		3.3000	9.26	30.558	
					31.316	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALE	%mo		5%	25.72	1.286	
					1.286	