

## Proposta de melhoria de traços para produzir blocos de alvenaria de concreto utilizando materiais comumente disponíveis no Vale do México

A. Tena\*<sup>1</sup>, A. Liga<sup>1</sup>, A. Pérez<sup>2</sup>, F. González<sup>1</sup>

\* Autor de Contacto: [atc@correo.azc.uam.mx](mailto:atc@correo.azc.uam.mx)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>

Recebido: 31-10-2016 | Aceito: 19-12-2016 | Publicado: 30-01-2017

### RESUMO

Apresenta-se um estudo onde se propõe uma atualização dos valores do índice de resistência à compressão da alvenaria ( $f^*_{m}$ ) elaborados com blocos de concreto especificados nas normas de alvenaria em vigor no Distrito Federal. Foi realizado um estudo de mercado, que levou em conta as características dos materiais comumente utilizados atualmente no Vale do México para a fabricação de blocos de concreto sólidos, incluindo os resultados de vários testes de laboratório nas matérias-primas disponíveis. Com base nestes resultados, são apresentadas as vantagens de projetar a alvenaria com base experimental em lugar de usar os valores indicativos oferecidos nas normas de alvenaria.

**Palavras chave:** Alvenaria; blocos de concreto; resistência à compressão.

**Citado como:** A. Tena, A. Liga, A. Pérez, F. González (2017). “Proposta de melhoria de traços para produzir blocos de alvenaria de concreto utilizando materiais comumente disponíveis no Vale do México”, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 36-56, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>

<sup>1</sup>Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

<sup>2</sup>Kaltia Ingenieros, México.

### Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida.

Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2017, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2017.

## **Proposal for improved mixes to produce concrete masonry units with commonly used aggregates available in the Valley of Mexico**

### **ABSTRACT**

In this paper, a proposal is done to update the masonry index compressive strength design value  $f_m^*$  for solid concrete masonry units for the masonry guidelines of Mexico's Federal District Code (NTCM-2004). Solid units were made by taking into account the characteristics of the most commonly used raw materials available in the Valley of Mexico to fabricate such units in the Metropolitan Area of Mexico City. Different tests were conducted for both raw materials and the obtained concrete units. Based upon test results, it is illustrated why it is much better to design masonry structures based upon the experimental data of the units to be used at the construction site rather than using index values proposed in building codes.

**Keywords:** masonry; concrete masonry units; compressive strength.

## **Propuesta de mejora de mezclas para producir piezas de mampostería de concreto empleando materiales comúnmente disponibles en el Valle de México**

### **RESUMEN**

Se presenta un estudio donde se hace una propuesta para actualizar los valores índices de la resistencia a la compresión de mamposterías ( $f_m^*$ ) elaboradas con piezas de concreto especificados en las normas de mampostería vigentes en el Distrito Federal. Se realizó un estudio de mercado, donde se tomaron en cuenta las características de los materiales comúnmente utilizados en la actualidad en el Valle de México para la fabricación de piezas de concreto sólidas, incluyendo los resultados de distintas pruebas de laboratorio realizadas a la materia prima. Con base en estos resultados, se ilustran las ventajas de diseñar a la mampostería con base experimental en lugar de utilizar los valores indicativos que se ofrecen en las normas de mampostería.

**Palabras clave:** mampostería; piezas de concreto; resistencia a la compresión.

## **1. INTRODUÇÃO**

No México, a grande maioria das construções habitacionais é construída usando alvenaria. Na maioria das aplicações, a alvenaria é empregada nos principais elementos estruturais para salvar a integridade da construção frente às cargas verticais e laterais, como é o caso das estruturas com base em paredes de alvenaria não reforçada, confinada e reforçada. Também se emprega blocos de concreto comumente para fins estruturais em paredes diafragma, que são elementos adicionais que proporcionam rigidez e reservas de resistência às cargas laterais, ou em divisas e contrafortes. No entanto, a aplicação de blocos em elementos não estruturais, como paredes divisórias não pode ser ignorada, uma vez que eles são muito apreciados pelos arquitetos e usuários de edifícios, uma vez que proporcionam um isolamento acústico adequado, o que promove excelentes condições de conforto aos usuários da propriedade, que não é obtido quando são utilizadas paredes divisórias com outros materiais tais como drywall ou similares, por exemplo. Dada a sua ampla utilização como material estrutural e não estrutural, é muito importante que no México a alvenaria seja fabricada com blocos de qualidade, que permitam obter boas propriedades para resistir às ações a que estarão sujeitas.

Infelizmente, a qualidade dos blocos de alvenaria disponíveis na Cidade do México e seus arredores piorou nas últimas décadas, especialmente os blocos de concreto. Quando foram publicadas pela primeira vez as Normas Técnicas Complementares para Estruturas de alvenaria (NTCM-77, 1977), as tabelas de resistências indicativas foram propostas com base na pesquisa experimental realizada entre o final dos anos sessenta e meados dos anos setenta no Instituto de Engenharia da UNAM, apresentada em Meli (1979), e reproduzida em parte em Tena e Miranda (2002).

Na Figura 1, apresenta-se o histograma reportado por Meli (1979) para blocos de concreto produzidos no período em questão. Naqueles tempos, no México havia três tipos de blocos de concreto: (a) pesados, (b) de peso intermediário e (c) leve. Destes, os de maior resistência e menor dispersão estatística sempre serão os blocos pesados, por utilizar agregados menos porosos, maiores quantidades de cimento e por serem produzidos em fábricas com elevados padrões de controle de qualidade, enquanto que os de menor resistência e maior dispersão estatística são o peso leve, que normalmente utilizam agregados muito porosos, menores quantidades de cimento e não são necessariamente produzidos em fábricas que controlam a sua qualidade. De fato, os blocos de concreto leve são geralmente muito mais suscetíveis a danos durante o carregamento e descarregamento no processo de transporte para a obra, resultando em um maior desperdício e/ou em blocos que são colocados danificados na alvenaria (Tena e Miranda, 2002).

Assim, a Figura 1 mostra que, nos anos setenta, os blocos de concreto que eram produzidos eram de qualidade suficiente, uma vez que a resistência à compressão média era de  $\bar{f}_p = 115 \text{ kg/cm}^2$ , e se observa que a maioria da amostra estatística se concentrava em resistências entre 80 e 120  $\text{kg/cm}^2$ .

No entanto, desde que se constatou que a parede de tijolos ou de concreto sólido tinha uma grande dispersão entre a resistência de blocos de diferentes fábricas, uma vez que na sua dosagem em volume variavam o tipo de agregado e a quantidade de cimento utilizado. Para este tipo de bloco, a média referida foi  $\bar{f}_p = 57 \text{ kg/cm}^2$  com um elevado coeficiente de variação, de 54% (Meli, 1979, Tena e Miranda, 2002). Além de sua baixa resistência, este tipo de bloco tem uma alta expansão volumétrica e alta permeabilidade, o que, em teoria, o torna pouco atraente em aplicações que têm contato frequente com água e a umidade do ambiente (Meli, 1979; Tena e Miranda 2002).

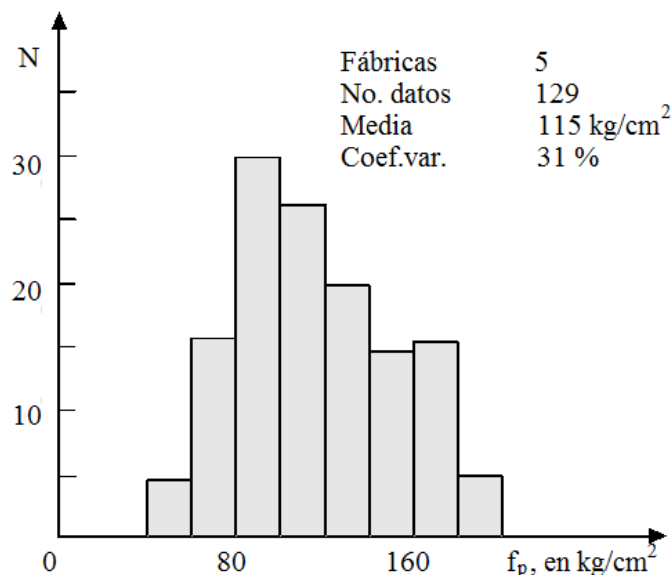


Figura 1. Histograma da resistência à compressão de blocos de concreto pesado (Meli 1979)

Sendo o concreto e o bloco os materiais mais baratos, têm sido amplamente utilizados em muitas áreas marginais ou de poucos recursos econômicos no país e na própria Cidade do México. Infelizmente têm-se constatado que a sua qualidade tem diminuído ao longo do tempo, e já não se limita exclusivamente aos tijolos de concreto, mas também aos blocos vazados de concreto, onde se pode ver uma grande porosidade a olho nu e inclusive podem até mesmo desagregar facilmente com a mão.

Deve-se notar que nos ensaios feitos há pouco tempo na UAM-A, verificou-se que os blocos de concreto que são comercializados e utilizados para construir estruturas de alvenaria combinadas apresentam piores propriedades mesmo, com resistência à compressão média do bloco de  $\bar{f}_p = 43.3 \text{ kg/cm}^2$  e absorção de água média de 26,5% em uma amostra de 18 blocos produzidos pelo mesmo fabricante (Tena et al., 2007; Tena-Colunga et al., 2009).

Visando encontrar uma solução para a problemática (que está se tornando um problema) da má qualidade dos blocos e peças de concreto que são produzidos e comercializados no Vale do México, esta equipe de pesquisa iniciou a tarefa de iniciar um estudo cujo fim foi o de melhorar as propriedades mecânicas dos blocos de concreto utilizando a mesma matéria-prima (ou os mesmos depósitos de materiais para brita e areia) que atualmente são utilizados pelos fabricantes que vendem esses blocos na área metropolitana da Cidade do México. O estudo é relatado em detalhes em Liga e Perez (2013) e, em seguida, são apresentados alguns aspectos de interesse geral.

## 2. ESTUDO DE BLOCOS PRODUZIDOS NO VALE DO MÉXICO

O primeiro passo na investigação foi investigar rapidamente as características dos blocos de concreto comumente vendidos no Vale do México. Os blocos foram fornecidos por um fabricante que utiliza tepojal (material com um módulo de finura de 4,16) como o seu principal agregado, dada a sua disponibilidade e abundância nos vales do México e de Toluca e, de acordo com o fabricante, também utiliza um cimento Portland de classificação CPC 40, produzido pela empresa Lafarge. As dimensões nominais dos blocos sólidas foram de 7cm x 12,5cm x 25cm. Estes tipos de peças são comercializados em estabelecimentos que vendem materiais de construção no varejo.

Foram realizados ensaios para se determinar duas propriedades muito representativas: absorção de água ao longo do tempo e a resistência à compressão simples.

Para os ensaios de absorção, seis peças foram utilizadas e foram realizadas pesagens em curtos intervalos de tempo de 5 e 10 min, e em períodos de 1,5 h e 24 h. Na Figura 2 se apresentam as curvas médias obtidas para os intervalos de tempo em estudo, de onde se observa que a absorção de água é muito elevada, muito superior ao limite de 20% às 24 h (Figura 2b) que é definida na norma NMX-C-404 (2005). Na verdade, os blocos absorvem em média mais de 25% de seu peso em água, em apenas cinco minutos (Figura 2A).

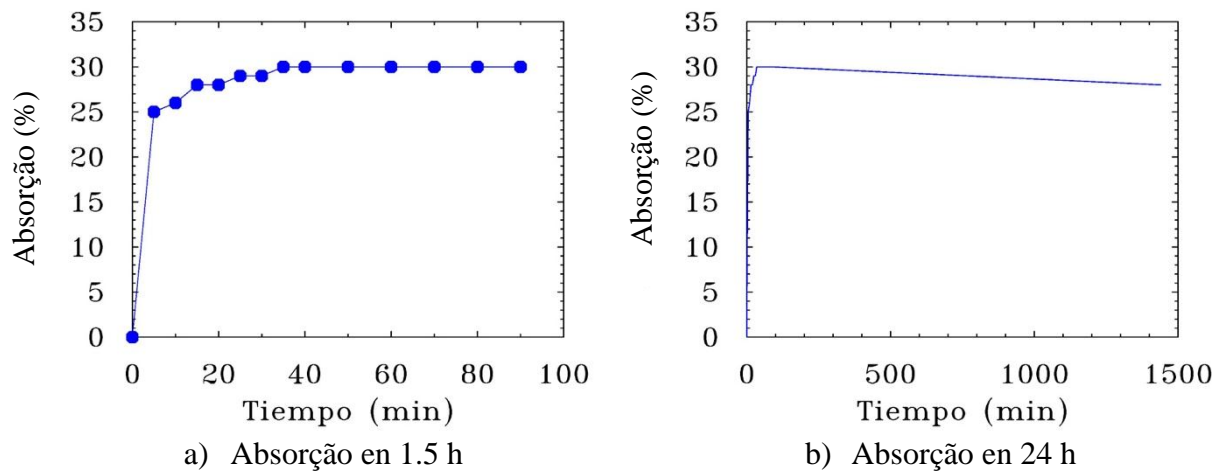


Figura 2. Absorção de água em blocos comercializadas no Vale do México

Os ensaios de compressão simples foram realizados conforme estabelecido nas NTCM-04 (2004) e na norma NMX-C-036 (2004), de modo que nove blocos foram ensaiados, usando placas de neoprene de espessura de  $\frac{1}{2}$  " como material de capeamento (Figura 3a). Dos ensaios observou-se que a falha típica de um bloco é por tensão normal às paredes laterais (Figura 3b), em vez de por esmagamento, e foi obtida uma resistência média  $\bar{f}_p = 25.5 \text{ kg/cm}^2$ . Esta resistência média é bem inferior à exigida tanto na norma NMX-C-404 (2005) como nas NTCM-04 (2004), onde a resistência à compressão mínima permitida de projeto para blocos de concreto é  $f_p^* = 60 \text{ kg/cm}^2$ . Considerando que, nas NTCM-04 se estabelece um coeficiente de variação mínimo de 30% ao definir o cálculo de  $f_p^*$  para o tipo de produção do bloco, bem como o critério estatístico do percentil 98, que considera a norma (Alcocer et al., 2003), resulta que a resistência média dos blocos deve ser de, pelo menos,  $\bar{f}_p = 105 \text{ kg/cm}^2$  para poder ser utilizada para fins estruturais, de acordo com a respectiva norma.

Os resultados do ensaio confirmaram as suspeitas que esta equipe de investigação tinha antes do início do estudo: é alarmante a má qualidade dos blocos de concreto vendidas no Vale do México e que estão disponíveis na maior parte dos negócios de materiais de construção, embora os blocos ensaiados tenham sido fabricadas com um cimento de classificação CPC 40. Por conseguinte, foi decidido fabricar blocos de concreto com as mesmas dimensões e a mesma matéria-prima, a fim de poder alcançar uma resistência razoável para seu uso estrutural de acordo com o estabelecido pelas NMX-C-404 (2005) e NTCM-04 (2004).



a) bloco na máquina universal



b) Falha típica do bloco

Figura 3. Ensaio a compressão de blocos comercializados no Vale do México

### 3. ESTUDOS DE TRAÇOS QUE CUMPRAM COM AS NORMAS

Dada à baixa qualidade de muitos dos blocos vendidos no Vale do México, se decidiu fazer estudos de traços de concreto que, empregando os agregados (areia e brita) mais comumente disponíveis nesta região, e empregando da mesma maneira cimento de classificação CPC 40 da Lafarge, permitiram obter melhores resistências à compressão média para uso estrutural. Buscou-se então obter resistência à compressão simples média variando de 50 kg/cm<sup>2</sup> a 200 kg/cm<sup>2</sup>, de modo a ter um intervalo de valores que permitiram posteriormente realizar ensaios com pilhas feitas a partir destes blocos e argamassas permitidas nas NTCM- 2004, propondo valores indicativos atualizados da resistência de projeto a compressão simples da alvenaria  $f_m^*$  para este tipo de blocos.

A partir de pesquisas de campo (Liga e Perez, 2013) foi encontrado que, na fabricação deste tipo de blocos, o agregado mais vulgarmente utilizado é o tepojal, e que dependendo da área e disposição do material, alguns fabricantes utilizam também o tezontle e areia como matérias-primas alternativas.

O tepojal (Figura 4a) é uma areia argilosa encontrada em abundância dentro do México. É um pequeno grão vulcânica revestido de argila, de alta porosidade e muito leve, que em teoria o torna ideal para fabricar blocos leves. Se obteve o tepojal de depósitos de materiais de Toluca, e se fez uma caracterização detalhada do material, tal como especificado nas normas mexicanas NMX-C-073 (2004), NMX-C-077 (1997), NMX-C-111 (2004) e NMX-C-165 (2004) para determinar as suas curvas granulométricas e propriedades importantes, que são relatadas em detalhe em Liga e Perez (2013). As propriedades significativas obtidas foram: a) módulo de finura: 4,16, b) absorção: 54,25%, c) Umidade: 39,26%, d) peso volumétrico solto: 0,68 ton/m<sup>3</sup>, e) peso volumétrico compacto: 0,81 ton/m<sup>3</sup>, f) peso específico seco: 1,04 ton/m<sup>3</sup> e g) peso específico saturado: 1,60 ton/m<sup>3</sup>. A partir dos resultados dos ensaios, concluiu-se que o tepojal empregado é um material muito leve e com altas taxas de absorção de água, sendo esta última uma característica indesejável para a fabricação de blocos de concreto leves.



Figura 4. Agregados utilizados nos estudos de traços

O Tezontle (Figura 4b) é um agregado fino avermelhado de origem vulcânica, geralmente localizado em encostas, vulcões e depressões. O material fornecido para esta pesquisa foi obtido em depósitos de materiais de Santa Maria Chiconautla, Estado do México. Para sua caracterização, seguiu-se o mesmo processo que o tepojal, como relatado em Liga e Perez (2013). As propriedades significativas obtidas para o tezontle foram: a) absorção: 20,46%, b) umidade: 7,78%, c) peso volumétrico solto: 0,91 ton/m<sup>3</sup>, d) peso volumétrico compacto: 1,04 ton/m<sup>3</sup>, e) massa específico seco: 1,56 ton/m<sup>3</sup> e f) massa específico saturado: 1,87 ton/m<sup>3</sup>. A partir dos resultados dos ensaios, concluiu-se que o tezontle disponível é um material leve e com uma taxa

razoável de absorção de água, o que o torna um material adequado para a elaboração de blocos leves de concreto.

Finalmente, também se obteve areia comum (Figura 4c) de um depósito de Huixquilucan, Estado do México. Os mesmos ensaios foram realizados para a sua caracterização, dos quais foram obtidas as seguintes propriedades importantes: a) absorção: 28,11% b) umidade: 1,66%, c) massa volumétrica solta: 1,27 ton/m<sup>3</sup>, d) peso volumétrico compacto: 1,43 ton/m<sup>3</sup>, e) massa específico seco: 1,66 ton/m<sup>3</sup> e f) massa específico saturado: 2,12 ton/m<sup>3</sup>. Portanto, dos resultados dos ensaios, conclui-se que as características desta areia são razoáveis, pois como não é leve, sua absorção de água é moderada e a sua curva granulométrica está dentro dos intervalos definidos pelas normas nacionais e internacionais, o que a torna uma matéria prima ideal para produzir, em teoria, blocos de concreto de qualidade.

Dadas as boas características obtidas para o tezontle, sua granulometria e custo, foi decidido que no estudo também se trabalharia com uma combinação de tezontle-areia em proporção volumétrica 30-70 (30% de tezontle e 70% de areia), que também foi caracterizado de acordo com as normas acima referidas. Foram obtidas as seguintes propriedades importantes para esta mistura: a) absorção: 21,51%, b) massa específico seco: 1,68 ton/m<sup>3</sup> e c) massa específico saturado: 2,04 ton/m<sup>3</sup>.

### 3.1 Estudos de traço de concreto para elaboração dos blocos

O estudo de traço foi feito usando os métodos tradicionais de dosagem para o concreto (por exemplo, Neville, 1998). Diferentes misturas foram realizadas utilizando como agregados base o tepojal e tezontle-areia, com diferentes relações agregado-cimento, água-cimento e foram moldadas diferentes amostras, cubos e blocos (Figura 5). O objetivo inicial de todas as misturas era obter resistências à compressão simples de 50, 100, 150 e 200 kg/cm<sup>2</sup>. Os detalhes do projeto e dosagem de cada mistura, assim como os resultados dos ensaios experimentais são relatados em detalhe em Liga e Perez (2013).

O projeto foi iniciado com o estudo dos traços para o material base mais utilizado, que é o tepojal. Foram realizados ensaios de resistência à compressão dos diferentes traços elaborados em cubos e blocos, cujas dimensões são mostradas na Figura 5. Os resultados iniciais obtidos com os ensaios foram decepcionantes, uma vez que se observou uma grande diferença nas resistências individuais e médias (Figura 6) obtidas para um mesmo traço, dependendo se o ensaio foi realizado em cubos ou em blocos, uma vez que o fator de forma afeta os resultados e não havia informação prévia sobre como realizar esta correção entre os cubos e os blocos.

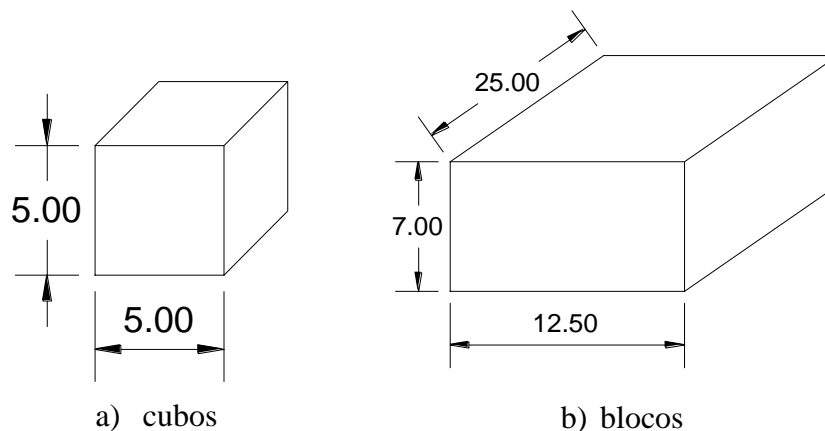


Figura 5. Dimensões (cm) de cubos e blocos ensaiados à compressão simples

Os resultados apresentados na Figura 6 foram para um mesmo lote de blocos e cubos que foram fabricados na mesma data, e também foi estudada a dependência no que diz respeito às relações cimento-agregado (Figura 6a) e água-cimento (Figura 6b). A cura dos blocos e cubos foi realizada na câmara úmida da área de construção da UAM-A.

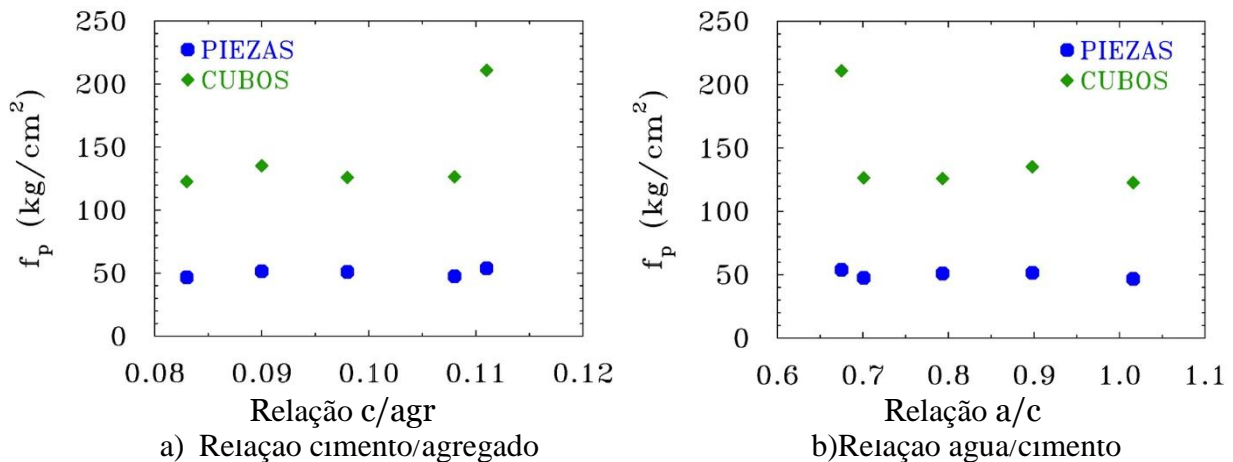


Figura 6. Dispersão dos resultados do ensaio à compressão de cubos e blocos feitos com tepojal. Os valores mostrados são as médias obtidas em pelo menos nove cubos e quatro blocos

Observa-se a partir da Figura 6 que independentemente da relação cimento-agregado e água-cimento, foram obtidas resistências muito baixas nos blocos, que variaram entre 31,1 e 64,9  $\text{kg/cm}^2$ , e cujas médias (figura 6) variaram entre 47 e 54  $\text{kg/cm}^2$ . Também não foi observada qualquer melhoria significativa no aumento da resistência à compressão simples se é aumentada a relação cimento/agregado (Figura 6a) ou se for reduzida a relação água-cimento (Figura 6b), particularmente nos blocos, que são o objetivo do presente estudo. No que se refere à relação água-cimento, talvez isso não tenha a ver com o fato de que o tepojal é um material com uma grande porosidade e uma elevada capacidade de absorção de água muito rapidamente, mas com uma incapacidade de reter essa água de uma forma controlada.

Por isso, este material é submetido a contrações muito fortes ao perder água durante o processo de secagem, que não favorece que reaja quimicamente de forma adequada com o cimento, para que ao pegar formem em conjunto um material mais resistente e menos poroso. Portanto, salvo quando se controla a relação água/cimento inferior a 0,7, que é onde se observa a diferença para obter maiores resistências, para outras relações mais elevadas, as misturas formadas não são suficientemente compactas e, portanto, não são muito resistentes em média. Por isso, conclui-se que, apesar da enorme popularidade que o tepojal tem como matéria-prima para a produção de blocos de concreto, é mais provável que um material inadequado para ser utilizado na fabricação de tais blocos em zonas sísmicas, isto sempre e quando o tepojal estudado do depósito de Toluca for representativo e suas características serem semelhantes às obtidas a partir de outros depósitos de tepojal nos vales do México e de Toluca.



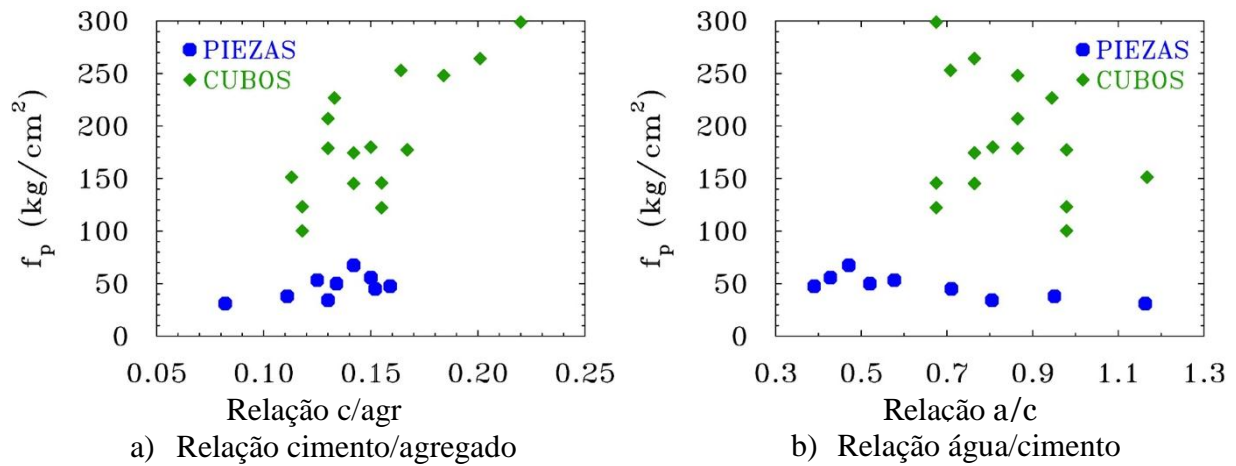


Figura 7. Dispersão dos resultados de ensaios a compressão de cubos e blocos feitos com o traço 30tezontle-70areia. Os valores mostrados correspondem às médias obtidas em pelo menos nove cubos e em cinco blocos

Em vista dos resultados decepcionantes obtidos com o tepojal, foi então decidido trabalhar com o traço tezontle-areia na proporção 30-70, tentando obter deste modo um concreto composto por agregados de boas características. Na Figura 7, se relacionam as resistências à compressão média das amostras entre 5 e 7 cubos ou blocos com respeito à relação cimento/agregado (Figura 7a) e água/cimento (Figura 7b). Foram estudadas inicialmente diferentes relações de volumes de cimento/agregados (entre 0,08 e 0,22, Figura 7a) para tentar obter as resistências à compressão objetivo dos blocos.

Como se observa na Figura 7a, nas resistências à compressão média dos blocos, não se observou que houve uma diferença muito importante ao aumentar o consumo de cimento, o que é observado na resistência dos cubos, mas esta não aumenta de forma importante a partir de uma relação de 0,12. Portanto, têm-se que o que mais importava neste estudo são as resistências obtidas em blocos, então as relações cimento/agregado foram finalmente ajustadas a relações 0,053, 0,065, 0,084 e 0,120, tendo em conta que tanto o processo de produção, como os custos, uma vez que ao aumentar o consumo de cimento aumentam os custos de produção dos blocos, e não há aumento do consumo de cimento se não oferece melhorias evidentes (neste caso, seria mais vantajoso para melhorar o material de base).

Deve também se notar que o traço tezontle-areia estudado apresentou melhores características (embora não ideais), dado que na Figura 7b se observa que, como se esperava, a resistência à compressão simples dos blocos tende a melhorar (embora ligeiramente) à medida que a relação água/cimento é reduzida, isto é, que se controla o consumo de água na produção. Não foram apresentados problemas de trabalhabilidade com os traços com relações água/cimento de 0,4 ou inferiores, apesar de não ter sido utilizado qualquer aditivo. As resistências à compressão médias dos blocos obtidas a respeito da relação água/cimento ( $a/c$ ) variaram entre 47,5  $\text{kg/cm}^2$  quando  $a/c = 0,39$  e 50  $\text{kg/cm}^2$  quando  $a/c = 0,52$ . A maior resistência média dos blocos de 67,43  $\text{kg/cm}^2$  foi obtida para  $a/c = 0,47$ . Naturalmente, se demandava uma amostragem muito maior e controlada para observar tendências mais representativas no que diz respeito à relação água/cimento, onde foram definidos intervalos mais uniformes para esta variável. No entanto, esse não era o objetivo principal do estudo, mas sim definir traços razoáveis para obter blocos de quatro resistências à compressão razoavelmente distribuídas, como mencionado anteriormente.

#### 4. FABRICAÇÃO DE BLOCOS COM O TRAÇO TEZONTLE-AREIA

Como foi explicado na seção anterior, foi decidido produzir massivamente blocos com tezontle-areia em relação 30-70 como material base, com relações cimento/agregado de 0,053, 0,065, 0,084 e 0,12, tendo em conta tanto os resultados discutidos anteriormente, como a opinião da empresa de blocos que se interessou em participar neste estudo, já que o custo aumentaria bastante se as quantidades de cimento empregadas ultrapassassem a relação de 0,12. As relações água/cimento utilizadas pelo fabricante variaram entre 0,43 e 0,50, com base em informações obtidas nos ensaios relatados na Figura 7b.

Os blocos foram produzidos na empresa de blocos (Figura 8a) de acordo com as dosagens estabelecidas na UAM-A, foram moldadas cuidadosamente e curadas ao ar livre (Figura 8b), adicionando água manualmente regularmente, que são representativas às condições com que se produzem e curam a grande maioria dos blocos e peças de concreto produzidos no Vale do México, com exceção das grandes empresas de blocos de concreto, que fazem uma melhor seleção de seus depósitos de materiais e de seus processos industrializados de produção e que, infelizmente, do conhecimento dos autores, existem apenas dois operando na área metropolitana da Cidade do México e municípios vizinhos.



a) Fabricação dos blocos



b) Compactação e cura dos blocos

Figura 8. Fabricação, compactação e cura dos blocos feitas com o traço tezontle-areia 30-70

#### 5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS TEZONTLE-AREIA

Os ensaios para determinar a resistência à compressão foram realizados de acordo com as especificações da norma NMX-C-036 (2004) utilizando a máquina universal de ensaios localizada no Laboratório de Modelos Estruturais Intermediários da UAM-A. O capeamento de cada bloco foi feito com enxofre (Figura 9a). O ensaio dos blocos à compressão (Figura 9b) foi conduzido a uma velocidade de 1,3 mm/s até a ruptura do exemplar, que normalmente era esmagamento e desmoronamento do bloco (Figura 9c).

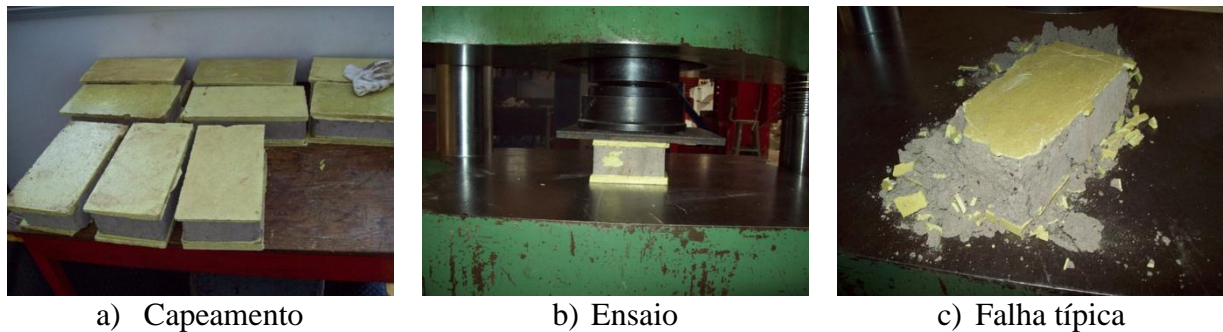


Figura 9. Ensaio à compressão simples de blocos feitos com o traço tezontle-areia 30-70

Foram ensaiados blocos à compressão para cada um dos traços de acordo com as normas NTCM-04 (2004). A resistência à compressão de projeto do bloco,  $f_p^*$ , é então calculada como:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5c_p} \quad (1)$$

onde  $\bar{f}_p$  é a resistência à compressão média dos blocos, com relação a área bruta e  $c_p$  é o coeficiente de variação da resistência à compressão dos blocos, que não deve ser considerado inferior a 0,30 para blocos de fabricação mecanizada, mas que não têm um sistema de controle de qualidade, o que é o caso em estudo.

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios de 10 blocos para cada relação cimento/agregado indicada, e onde se identifica como  $c_p^*$  o coeficiente de variação mínimo de projeto definido nas NTCM-04 ( $c_p^* \geq 0,3$ ) e como  $f_{pp}^*$  a resistência à compressão de projeto do bloco se nas NTCM-04 for permitido utilizar o coeficiente de variação obtido nos ensaios ( $c_p$ ), quando este resulta menor que  $c_p$ .

Observa-se a partir dos resultados mostrados na Tabela 1 que, à medida que se aumenta a relação cimento/agregado, não só aumentam as resistências à compressão média dos blocos fabricados com o traço tezontle-areia 30-70, mas se diminui notavelmente o coeficiente de variação  $c_p$ . As resistências à compressão médias obtidas estiveram razoavelmente próximas às resistências objetivo para as relações cimento/agregado iguais ou superiores a 0,065, e superou as expectativas para a relação 0,053. Se nas NTCM-04 (2004) se permitiu tomar o coeficiente de variação  $c_p$  obtido dos ensaios, seriam obtidas resistências de projeto atraentes ( $f_{pp}^*$ ); No entanto, como indicado na seção 2.1.2 que: "O valor de  $c_p$  não será tomado menor de 0,20 para blocos usinados a partir de fábricas mecanizadas que demonstrem um sistema de controle de qualidade, conforme exigido pela norma NMX-C-404-ONNCCE, nem 0,30 para blocos de produção mecanizada, nem 0,35 para blocos de produção artesanal.", então, neste caso, se deve tomar  $c_p = c_p^* = 0,30$ , e como mostrado, a resistência à compressão de projeto  $f_p^*$  obtida para os blocos é significativamente reduzida (entre 19% e 46% inferiores).

Tabela 1. Resistências à compressão de projeto dos blocos tezontle-areia 30-70 calculadas conforme a NTCM-04 (2004)

Propriedade	Relação cimento/agregado			
	0.053	0.065	0.084	0.012
$\bar{f}_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	92.63	108.86	133.26	186.48
$c_p$	0.18	0.19	0.08	0.08
$f_{pp}^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	63.88	73.80	111.05	155.40
$c_p^*$	0.30	0.30	0.30	0.30
$f_p^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	52.93	62.21	76.15	106.56

É opinião dos autores que, se se deseja incentivar que se construa alvenaria de maior qualidade, favorecendo o que foi feito com base experimental, se deveria então revisar com dados atualizados os valores mínimos estabelecidos para  $c_p$ , que constituem um excesso de conservadorismo.

## 6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PILHAS DE ALVENARIA

Sempre que se consegue produzir blocos de concreto de resistências adequadas, são construídas pilhas ou prismas de alvenaria, a fim de determinar posteriormente a resistência de projeto da alvenaria à compressão,  $f_m^*$ .

### 6.1 Argamassas colantes

Primeiro foram estudadas argamassas tipo I, II e III (Tabela 2), proporções volumétricas que atendem com o estabelecido nas NTCM-04 (2004). Foi utilizado um cimento de classificação CPC 30R. A mistura foi feita com uma pá, ao ar livre. A quantidade de água adicionada à argamassa objetivou manter em todo momento a trabalhabilidade da mesma, considerando-se a absorção inicial dos blocos, de modo que nenhuma aderência foi perdida ao fabricar os prismas. A cal utilizada nas argamassas II e III favoreceu a aderência com os blocos.

A título exclusivamente indicativo e não para satisfazer as diretrizes das NTCM-04, foram elaborados até seis cubos de argamassa com 5cm de lado (Figura 5b) para a determinação da resistência à compressão de cada argamassa. As amostras de argamassa foram lançadas em moldes de metal de faces planas previamente untadas para facilitar a desmoldagem. O preenchimento dos moldes foi realizado da seguinte maneira (figura 10a): a argamassa foi vertida até a terceira parte do molde, subsequentemente foi compactada com pilão com 25 golpes. Uma vez completa a compactação da primeira camada, torna-se a verter argamassa a cada terço restante com a respectiva compactação. Ao terminar, o molde é preenchido e arrasado. Depois da moldagem dos cubos, eles foram colocados na câmara de cura, onde permaneceram por 24 horas. Ao final deste período, os moldes foram removidos e colocados ao ar livre para continuar sua curar sob as mesmas condições que as pilhas (Figura 10b), que foram construídas ao mesmo tempo, tal como indicado mais adiante.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados uma vez cumprida a idade de ensaio (28 dias). Para cada ensaio foi colocado um cubo centrado em relação aos pratos da máquina, comprovando que as faces de aplicação da carga foram planadas sem o uso de qualquer material de capeamento (Figura 10c). A velocidade de aplicação da carga foi de 1,3 mm/s, com a qual cada cubo foi levado ao colapso. Dado que não foi ensaiado o número mínimo de cubos (9) para determinar a resistência à compressão da argamassa, foram indicadas apenas as resistências

médias obtidas para cada argamassa, que foram de 115,2 kg/cm<sup>2</sup> para a argamassa tipo I, 89,3 kg/cm<sup>2</sup> para o tipo II e 41,7 kg/cm<sup>2</sup> para argamassa tipo III.

Tabela 2. Traços em volume das argamassas utilizadas

Tipo de argamassa	Partes de cimento hidráulico	Partes de cal hidratada	Partes de areia
I	1	-	3
II	1	1/2	3
III	1	1	3



a) fabricação



b) cura e identificação



c) ensaio

Figura 10. Moldagem, cura e ensaio de cubos de argamassa

A principal razão para não estar obcecado com a resistência à compressão da argamassa é que não é a propriedade mais importante de uma argamassa, pois leva à convicção errada de que é melhor ter uma argamassa seca, mas muito resistente, a qual é obtida utilizando como aglomerante uma grande quantidade de cimento hidráulico e nada de cal, e que lidera as alvenarias com problemas de aderência, em vez de promover a utilização de uma argamassa trabalhável, com uma resistência razoável e elevada aderência, o qual é obtido pela adição de cal na argamassa, mas em menor proporção volumétrica que o cimento hidráulico. O anterior trata de vastos estudos a este respeito e, portanto, há diversas décadas nas normas de alvenaria dos Estados Unidos (por exemplo, UBC-97 1997, ACI-530 2011), as argamassas para uso estrutural são especificadas nas tabelas só são dadas as suas proporções volumétricas e sempre se solicita adicionar cal, e não é mostrada nesta tabela, ou na norma, uma resistência à compressão requerida ou índice (tabela 3).

Tabela 3. Argamassas estruturais das normas de alvenaria dos Estados Unidos. Traços em volume

Tipo	Partes de cimento Portland	Partes de cal hidratada	Partes de areia
M	1	1/4	3 1/2
S	1	1/2	4 1/2
N	1	1	6
O	1	2	9

## 6.2 Prismas ou pilhas de alvenaria

Os prismas de alvenaria foram fabricados conforme especificado na seção 2.8 das NTCM-04 (2004). Cada pilha foi feita com cinco blocos, unidas com juntas de argamassa de 1cm de espessura, de modo que cada pilha tinha uma altura de cerca de 39 cm aproximadamente, de modo que a relação de esbeltez altura-base das pilhas é  $h/b = 39/12,5 = 3,12$ , dentro do intervalo compreendido na seção 2.8.1.1 das NTCM-04 ( $2 \leq h/b \leq 5$ ).

Foram elaborados dez prismas para cada tipo de bloco (4) e cada tipo de argamassa (3), resultando em um total de 120 prismas de alvenaria para os ensaios de resistência à compressão. Para a elaboração das pilhas foi utilizada uma mesa de trabalho que permitia a produção em série, utilizando guias para respeitar a espessura da junta da argamassa de  $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ , como estabelece o Apêndice A1 da NMX-C-404 (Figura 11). As pilhas foram construídas por um mestre pedreiro experiente que trabalha na UAM-A.

Após a conclusão dos 28 dias de cura para cada conjunto de prismas, procedeu-se ao ensaio dos mesmos, no primeiro momento com capeamento com enxofre (Figura 12a) e, posteriormente, com a preparação da máquina universal, onde foram realizados os ensaios, seguindo o especificado na norma NMX-C-036. A falha obtida nos prismas corresponde à falha típica por tração lateral (por exemplo, McNary e Abrams, 1985), que é iniciada pelos blocos e atravessa as juntas de argamassa (Figura 12b), e que é a que se espera em uma boa alvenaria, onde se cumpre com a premissa de projeto de argamassa fraca - blocos fortes.



a) Mesa de trabalho



b) Guias para as juntas da argamassa

Figura 11. Elaboração de prismas ou pilhas de alvenaria com blocos de tezontle-areia 30-70

As resistências à compressão de pilhas individuais foram calculadas de acordo com as diretrizes das NTCM-04 (2004), onde a resistência à compressão foi corrigida tendo em conta o fator de correção por esbeltez da pilha ou prisma ( $f_e$ ) estabelecido na tabela 2.5 das NTCM-04. Por tanto, a resistência à compressão individual de cada pilha ( $f_m$ ) foi calculada como:

$$f_m = \frac{P}{A_n} f_e \quad (2)$$

onde  $P$  é a carga axial máxima resistida,  $A_n$  é a área líquida da seção transversal da pilha e, neste caso, uma vez que a relação de esbeltez da pilha é  $h/b = 3.12$ , interpolando linearmente da Tabela 2.5 das NTCM-04, tem-se que  $f_e = 0,912$ . Cabe notar que antes do capeamento foram observados problemas de aderência na última peça de quatro pilhas unidas com argamassa tipo I utilizada, que não empregava cal (Tabela 2), de modo que foi decidido remover esse bloco e junta e capear essas pilhas com quatro blocos, por isso, nessas quatro pilhas, exclusivamente, a esbeltez reduziu a  $h/b = 2,48$  e então para essas pilhas,  $f_e = 0,807$ . Dado que foram apenas quatro de 40 pilhas onde isso ocorreu, e foi praticamente uma para cada tipo de bloco em estudo (relação cimento/agregado) é considerado que não afetam as estatísticas dos ensaios discutidos abaixo, mas ilustram que o problema de perda de adesão ocorre mais facilmente em argamassas

elaboradas sem cal. Nas outras argamassas, que foram feitas com cal (Tabela 2), se apresentou perda de aderência apenas em uma pilha, quando foi usada a argamassa do tipo III (Liga e Perez, 2013).

A resistência à compressão de projeto das pilhas,  $f_m^*$ , foi calculada em seguida conforme estabelecido nas NTCM-04 (2004):

$$f_m^* = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5c_m} \quad (3)$$

onde  $\bar{f}_m$  é a resistência à compressão média das pilhas (pelo menos nove, neste estudo de dez),  $c_m$  é o coeficiente de variação da resistência à compressão das pilhas ensaiadas, que em nenhum caso se considera inferior a 0,15 ( $c_m^* = 0,15$ ).



a) Preparação de prismas para o ensaio



b) Falha típica obtida

Figura 12. Ensaio a compressão simples dos prismas da alvenaria em estudo

Nas Tabelas de 4 a 6 se apresentam os resultados dos ensaios para cada tipo de argamassa e para cada relação cimento/agregado com a qual os blocos foram produzidos. É identificado como  $c_m^*$  o coeficiente de variação mínimo de projeto estabelecido nas NTCM-04 ( $c_m^* \geq 0,15$ ), e como  $f_{mp}^*$  a resistência à compressão de projeto da alvenaria se nas NTCM-04 for permitido utilizar o coeficiente de variação obtido nos ensaios ( $c_m$ ), quando resulta inferior a  $c_m^*$ .

A partir dos resultados mostrados nas tabelas, observa-se que o coeficiente de variação obtido nos ensaios,  $c_m$ , é em todos os casos inferior ao valor mínimo  $c_m^* = 0,15$  estabelecido nas NTCM-04, e, em geral, o valor mais alto é obtido para os blocos produzidos com a relação cimento/agregado mais baixa, de 0,053, exceto para a argamassa de tipo II (Tabela 5). Em geral, os coeficientes de variação experimental obtidos para as demais relações cimento/agregados dos blocos oscilam entre 40% e 72% do  $c_m^* = 0,15$  estabelecido como mínimo nas NTCM-04 (2004), e é por isso que se obtêm resistências  $f_{mp}^*$  maiores entre 8% e 20% de  $f_m^*$  para as argamassas em estudo para relações cimento/agregado de 0,065 ou superior. Talvez neste caso em que nas NTCM-04 se obriga a utilizar um coeficiente mínimo de variação de 0,15 não leve a diferenças muito significativas nas resistências de projeto  $f_m^*$ ; no entanto, por coerência, também devia revisar o valor desse limite, a fim de incentivar a concepção de alvenaria com a base experimental.

Tabela 4. Resistências à compressão de projeto dos prismas elaborados com argamassa tipo I

Propriedade	Relação cimento/agregado			
	0.053	0.065	0.084	0.012
$\bar{f}_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	29.42	40.54	53.02	97.89
$c_m$	0.145	0.10	0.08	0.07
$f_{np}^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	21.58	32.36	44.56	83.81
$c_m^*$	0.15	0.15	0.15	0.15
$f_m^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	21.40	29.49	38.56	71.19

Tabela 5. Resistências à compressão de projeto dos prismas elaborados com argamassa tipo II

Propriedade	Relação cimento/agregado			
	0.053	0.065	0.084	0.012
$\bar{f}_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	30.72	38.33	51.64	96.20
$c_m$	0.08	0.06	0.08	0.11
$f_{np}^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	25.70	33.32	43.36	75.83
$c_m^*$	0.15	0.15	0.15	0.15
$f_m^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	22.34	27.88	37.55	69.97

Tabela 6. Resistências à compressão de projeto dos prismas elaborados com argamassa tipo III

Propiedad	Relación cemento/agregado			
	0.053	0.065	0.084	0.012
$\bar{f}_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	31.50	37.49	50.82	89.22
$c_m$	0.12	0.09	0.09	0.07
$f_{np}^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	24.43	30.33	41.38	76.46
$c_m^*$	0.15	0.15	0.15	0.15
$f_m^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	22.91	27.76	36.96	64.89

## 7. COMPARAÇÃO COM AS TABELAS HISTÓRICAS DAS NTCM

Desde a sua primeira versão publicada em 1977 (NTCM-77, 1977) e até a sua versão de 1995 (NTCM-95, 1995), as Normas Técnicas Complementares para o projeto de estruturas de alvenaria das Normas para as construções do Distrito Federal estabeleciam em sua seção 2.4.1, que a resistência à compressão para blocos e tijolos de concreto com relação  $\frac{h}{t} \geq 0.5$  e  $f_p^* \leq 20$  MPa poderiam ser tomadas a partir da Tabela 7, se foi verificado que os blocos e a argamassa atendem aos requisitos de qualidade especificados na seção 2.1 e 2.2 destas normas, respectivamente.



Tabela 7. Resistência de projeto à compressão da alvenaria de peças de concreto das NTCM 1977 a 1995

$f_p^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_m^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Argamassa I	Argamassa II	Argamassa III
25	15	10	10
50	25	20	20
75	40	35	30
100	50	45	40
150	75	60	60
200	100	90	80

Posteriormente, nas NTCM-04 (2004) a mudança que ocorreu nesta tabela foi excluir as linhas para as resistências  $f_p^* < 100$  kg/cm<sup>2</sup>, uma vez que já se disponha dos relatórios sobre a alarmante produção e comercialização de blocos de concreto de baixa qualidade, e que a resistência à compressão diagonal dos prismas,  $v_m^*$ , conforme estabelecido na tabela 2.8 das NTCM-04 (2004), foi obtida para peças de concreto, onde  $f_m^* \geq 85$  kg/cm<sup>2</sup> (Hernandez, 1999), como pode se deduzir da partir da observação da Figura 1. Portanto, dado que em uma zona fortemente sísmica como a Cidade do México o projeto de cisalhamento das paredes geralmente governa a concepção global de estruturas com base em paredes de alvenaria confinadas, decidiu-se por exigir blocos de concreto com a qualidade mínima para garantir essas resistências  $v_m^*$ .

Deve se notar que se resgata a tabela histórica das NTCM (Tabela 7) exclusivamente com o objetivo de poder comparar em um intervalo mais amplo de resultados obtidos neste estudo experimental, porque essa tabela resume todas as experiências que foram conduzidas na década de setenta. De modo algum se deseja encorajar as pessoas obtenham "valores de projeto" usando blocos de má qualidade ( $f_p^* < 50$  kg/cm<sup>2</sup>), que não garantem salvaguardas a integridade da estrutura e, mais importante, dos que as habitam. Quem construir estruturas de alvenaria com tais blocos com conhecimento absoluto da sua má qualidade não têm qualquer compromisso social e de ética.

Na figura 13 se comparam as curvas de projeto  $f_p^*$  vs  $f_m^*$  estabelecidas nas NTCM (Tabela 7, círculos cheios), com as que foram obtidas no presente estudo, tanto considerando os coeficientes de variação mínimos  $c_p^* = 0,30$  e  $c_m^* = 0,15$  estabelecidos nas NTCM-04 (2004), como os coeficientes de variação  $c_p$  e  $c_m$  determinados experimentalmente neste estudo para os blocos (Tabela 1) e para os prismas (Tabelas 4 a 6).

Observa-se que as curvas obtidas com os coeficientes experimentais  $c_p$  e  $c_m$  sem forçar os limites mínimos (dados com triângulos preenchidos) se mostram mais consistentes e similares às curvas traçadas com os dados da tabela das NTCM (Tabela 7, círculos cheios) no intervalo de resistências  $f_p^*$  coincidentes. Em vez disso, quando aplicados ao pé da letra, os valores mínimos  $c_p^* = 0,30$  e  $c_m^* = 0,15$  (dados com triângulos invertidos cheios), as curvas obtidas tendem a não coincidir com as das NTCM, dado que ao ser mais conservador no cálculo de  $f_p^*$  que de  $f_m^*$ , dada a enorme diferença entre os valores mínimos dos coeficientes de variação, as resistências dos blocos diminuem muito mais do que as da alvenaria em conjunto, e isso faz com que as inclinações obtidas nas curvas sejam mais íngremes. Assim, tal como atualmente estabelecido nas NTCM-04 com base experimental, parece que a partir deste momento seriam desenvolvidas resistências maiores  $f_m^*$  para os blocos a partir de  $f_p^* \geq 75$  kg/cm<sup>2</sup>, considerando-se as curvas obtidas com  $c_p^* = 0,30$  e  $c_m^* = 0,15$  (triângulos invertidos cheios). No entanto, se forem utilizados exclusivamente os valores estatísticos  $c_p$  e  $c_m$  obtidos para cada material (triângulos cheios), parece ser que a tendência é semelhante a que se obteve na década dos anos setenta, que parece ser mais consistente.

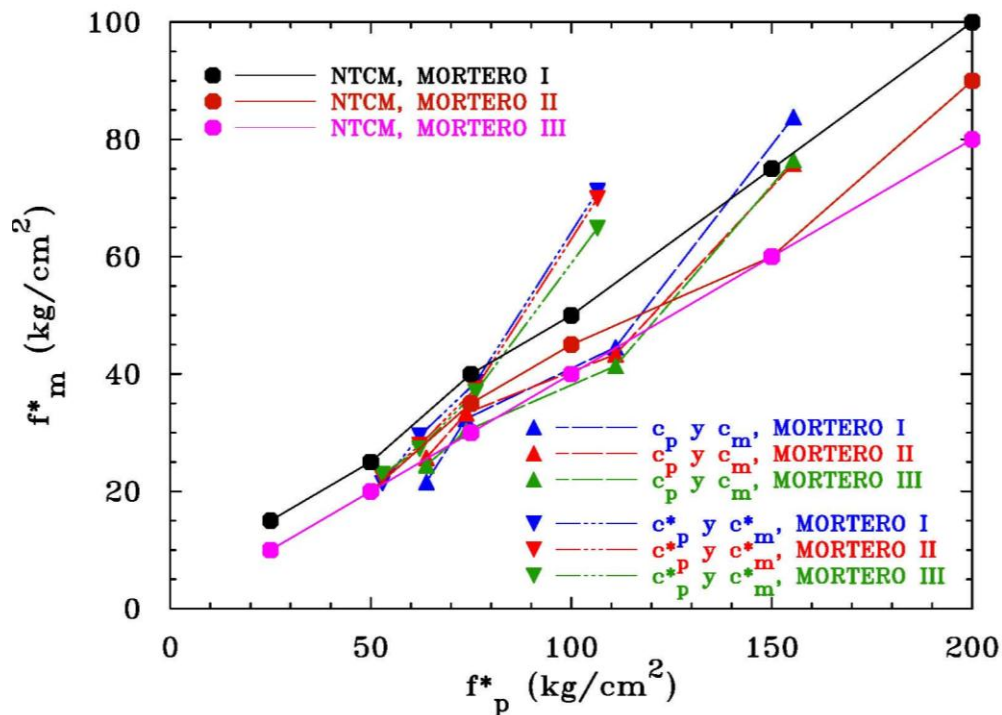


Figura 13. Resistência de projeto à compressão da alvenaria ( $f_m^*$ ) vs resistência de projeto à compressão dos blocos ( $f_p^*$ ). Comparação dos valores obtidos neste estudo com os estabelecidos nas NTCM

À luz dos resultados expostos, parece demasiadamente severo utilizar um coeficiente de variação mínimo  $c_p^* = 0,30$  para determinar o valor de projeto  $f_p^*$  dos blocos. Vê-se na Tabela 1 que os  $c_p$  obtidos nos ensaios variaram de 0,08, para os blocos mais resistentes, a 0,19 para os blocos menos resistentes. Assim, e tomando um critério conservador, decidiu-se avaliar como ficariam as curvas se fosse empregado um coeficiente de variação único  $c_p = 0,20$ , que neste caso coincidiria com o proposto nas NTCM-04 para "blocos provenientes de fábricas mecanizadas que evidenciem um sistema de controle de qualidade conforme o requerido na norma NMX-C-404-ONNCCE", isto é, com o mais elevado nível de controle de qualidade, que não é o que foi usado para fabricar os blocos.

Da mesma forma, e tendo em conta que o coeficiente de variação máximo  $c_m$  obtido nos ensaios foi de 0,145 (Tabela 4), foi empregado o coeficiente de variação único  $c_m = 0,15$ , que é o atualmente considerado nas NTCM-04. As curvas assim desenhadas são comparadas com as históricas das NTCM na Figura 14. Se observa uma correlação razoável no intervalo de resistências  $f_p^*$  em que coincidem com a condição de que, como para as curvas anteriores, apreciar menos diferenças entre as curvas de argamassa tipo I a III (especialmente entre i morteiros de tipo e tipo II) que estabeleceram na NTCM, embora observa-se que, com o aumento da resistência  $f_p^*$  dos blocos, começa a existir uma maior diferença nos valores de  $f_m^*$  para os diferentes tipos de argamassas (as curvas são mais separadas, particularmente com as argamassas mais fracas).

Assim, tomando estes últimos resultados para apresentar uma proposta mais ligada às NTCM vigentes, poderia se propor os valores mostrados na Tabela 8 para fins de projeto para o tipo de blocos que foram estudados, já arredondando a valores práticos e conservadores. De fato, no intervalo de resistência  $f_p^*$  obtido para os blocos para fins de projeto não vale a pena fazer distinções entre os tipos I e II argamassa, mas com a argamassa III (Figura 14). Na Tabela 8 é considerada a resistência mínima  $f_p^* \geq 60 \text{ kg/cm}^2$  que se estabelece nas normas NMX-C-404 para uso estrutural.

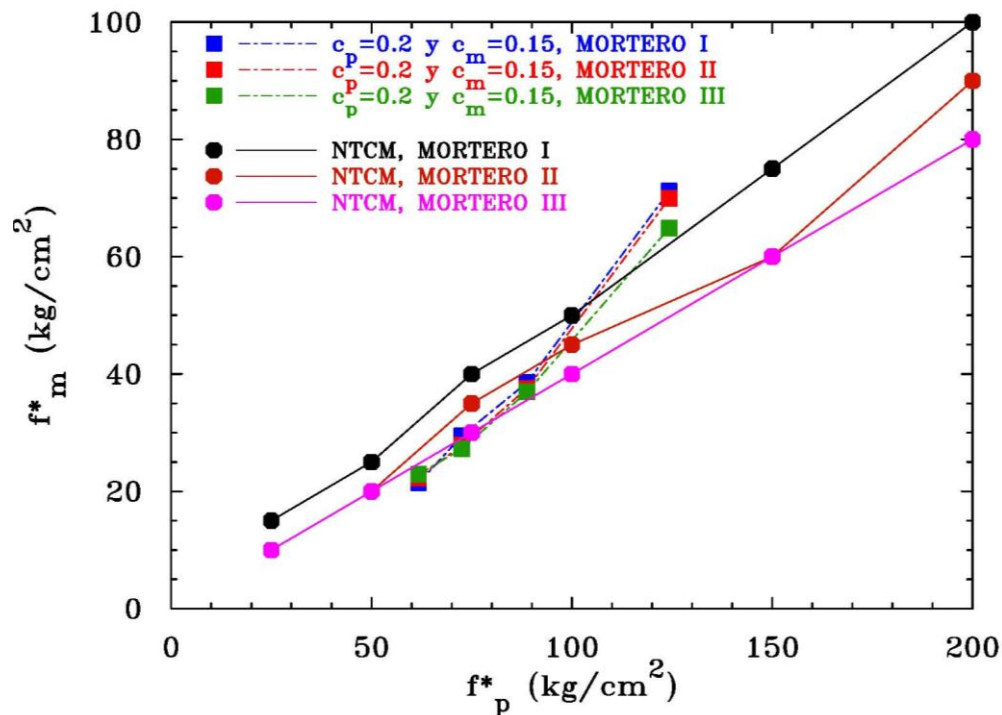


Figura 14. Resistência de projeto à compressão da alvenaria ( $f_m^*$ ) vs resistência de projeto à compressão dos blocos ( $f_p^*$ ). Comparação das NTCM com valores propostos para fins de projeto nos blocos em estudo

Tabela 8. Resistência de projeto à compressão da alvenaria de peças de concreto sólidas elaboradas com traços tezontle-areia em proporção 30-70

$f_p^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_m^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Argamassa I	Argamassa II	Argamassa III
60	20	20	20
75	30	30	28
100	48	48	45
125	70	70	65

## 8. COMENTÁRIOS FINAIS

Foi realizado um estudo experimental, que levou em conta as características dos materiais comumente utilizados atualmente no Vale do México para a fabricação de blocos de concreto sólidos, incluindo os resultados de vários ensaios laboratoriais para a matéria-prima mais utilizada, que são o tepojal, o tezontle e a areia. A partir destes estudos, verificou-se que o tepojal (pelo menos o do depósito obtido) é um material base inadequado para a produção de blocos de concreto de qualidade, independentemente da quantidade de cimento que é adicionada à mistura. Por isso, decidiu-se trabalhar com uma combinação de tezontle e areia numa proporção 30-70, permitindo obter melhores propriedades de absorção e resistência. Assim, quatro dosagens diferentes de agregados e cimento foram definidas para elaborar os blocos de concreto com tezontle e areia, que permitiram a obtenção de resistência à compressão média dos blocos entre 90 e 190 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, com coeficientes de variação que oscilaram entre 0,08 e 0,19, muito abaixo do coeficiente de variação estabelecido nas NTCM-04 para a preparação

mecanizada de blocos, mas não conta com um sistema de controle de qualidade, o que é  $c_p = 0,30$ .

Subsequentemente, foram construídas e testadas pilhas ou prismas para cada uma das argamassas especificadas nas NTCM-04 (argamassas tipo I, II, III). A partir dos resultados dos ensaios foram definidas as resistências de projeto à compressão da alvenaria com referência à área bruta ( $f_m^*$ ) definido de acordo com as NTCM-04, utilizando tanto o coeficiente de variação obtido no ensaio, como o mínimo especificado na NTCM-04. Deve se notar que os valores de  $c_m$  nos ensaios experimentais  $0,06 \leq c_m \leq 0,145$  foram sempre menores do que o mínimo estabelecido nas NTCM-04 ( $c_m = 0,15$ ).

Aplicando ao pé da letra o que é estabelecido nas NTCM-04 para obter as resistências de projeto  $f_p^*$  dos blocos e  $f_m^*$  da alvenaria em conjunto, foram obtidas curvas íngremes que não se comparam bem com as curvas obtidas a partir das tabelas para projeto propostas nas mesmas normas. Portanto, considera-se importante revisar nas NTCM os valores mínimos propostos para o coeficiente de variação da resistência dos blocos,  $c_p$  que, conforme o obtido neste estudo, parece ser excessivamente conservador. Também seria desejável verificar nas NTCM os valores mínimos propostos para o coeficiente de variação da resistência,  $c_m$ , embora este último pareça mais razoável.

## 9. AGRADECIMENTOS

Os recursos necessários para realizar os experimentos foram obtidos a partir do projeto interno da UAM-A "MA025-13: Análise, projeto e regulamentação de sistemas e elementos estruturais"

## 10. REFERÊNCIAS

- ACI-530 (2011), "*Building code requirements for masonry structures (ACI 530-11/ASCE 5-11/TMS 402-11)*", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Estados Unidos.
- Alcocer, S. M., Cesín, J., Flores, L. E., Hernández, O., Meli, R., Tena, A., Vasconcelos, D. (2003), "*The New Mexico City Building Code requirements for design and construction of masonry structures*", Memorias, Ninth North American Masonry Conference, Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos, CD-ROM, pp. 656-667, junio.
- Hernández O. (1999), "*Comunicación personal*".
- Liga, A. E., Pérez, A. (2013), "*Revisión y propuesta de las resistencias a compresión y cortante de diseño para piezas de concreto de las Normas Técnicas de Mampostería del Reglamento de Construcción del Distrito Federal*", Proyectos Terminales I y II, Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, julio.
- McNary, W. S., Abrams, D. P. (1985), "*Mechanics of masonry in compression*", ASCE Journal of Structural Engineering, V. 111, No. 4, pp. 857-870.
- Meli, R. (1979), "*Comportamiento sísmico de muros de mampostería*", Informe No. 352, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Neville, A. (1998), "*Tecnología del Concreto. Tomo I*", (Ciudad de México, México, Limusa).
- NMX-C-036 (2004), "*Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Resistencia a la Compresión - Método de Prueba*", Norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.
- NMX-C-073 (2004), "*Industria de la construcción - Agregados - Masa Volumétrica - Método de Prueba*", Norma NMX-C-073-ONNCCE-2004, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.

- NMX-C-077 (1997), “*Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba*”, Norma NMX-C-077- ONNCCE-1997, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.
- NMX-C-111 (2004), “*Industria de la construcción - Agregados para concreto hidráulico - Especificaciones y Métodos de Prueba*”, Norma NMX-C-111- ONNCCE-2004, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.
- NMX-C-165 (2004), “*Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino -Método de Prueba*”, Norma NMX-C-165- ONNCCE-2004, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.
- NMX-C-404 (2005), “*Industria de la construcción - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones y Métodos de Prueba*”, Norma NMX-C-404- ONNCCE-2005, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE), México, D.F.
- NTCM-77 (1977), “*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*”, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, abril.
- NTCM-95 (1995), “*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*”, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, febrero.
- NTCM-04 (2004), “*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, octubre.
- Tena, A., Miranda, E. (2002), “*Capítulo 4: Comportamiento mecánico de la mampostería*”, en S. Alcocer (Ed.), *Edificaciones de Mampostería para la Vivienda*, Fundación ICA, CDROM, ISBN 968 5520 00-3, pp. 103-132.
- Tena, A., Juárez, A., Salinas, V. H. (2007), “*Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales*”, *Revista de Ingeniería Sísmica*, No. 76, pp. 29-60.
- Tena-Colunga, A., Juárez-Ángeles, A., Salinas-Vallejo, V. M. (2009), “*Cyclic behavior of combined and confined masonry walls*”, *Engineering Structures*, V. 31, No. 1, pp. 240-259.
- UBC-97 (1997), “*Uniform Building Code, 1997 edition*”, International Conference of Building Officials, Whittier, California, Vol. 2.