

**CAPÍTULO I**  
**EL OBJETO DE**  
**CONOCIMIENTO**

## **1. EL OBJETO DE CONOCIMIENTO**

### **1.1. El Problema**

#### **1.1.1. Antecedentes**

Se entiende por mampostería el sistema constructivo por medio del cual unidades formadas o moldeadas, por lo general lo suficientemente pequeñas para que una sola persona los manipule, se adhieran con mortero para formar paredes o muros.

La experiencia internacional en construcción utilizando bloques de hormigón o concreto, ha demostrado el excelente comportamiento de este sistema constructivo y su adaptabilidad a cualquier tipo de edificación. Sus propiedades tanto físicas como mecánicas, su versatilidad, unidas a su coste de fabricación favorecen su utilización; a la vez que su facilidad para cambiar formas, colores y texturas lo hace adaptable a cualquier requerimiento.

El uso de unidades de mampostería de concreto (blocks) ofrece ventajas técnicas y económicas (modulación, resistencia a compresión, características térmicas y acústicas, rapidez y economía en la construcción) pueden ser perforadas o no, las unidades perforadas permiten usar grout (mezcla de material cementicio y agua, con o sin agregados) para rellenarlas y lograr continuidad en la estructura. Para su control de calidad existen normas que especifican los procedimientos y métodos de ensayo, en la mayoría de los países de América Latina y algunos de África y Asia se utilizan como referencia las normas de la ASTM adaptándolas a la región. En nuestro país el control de calidad en la mampostería es muy reducido debido a la variabilidad en la mano de obra, material y procesos utilizados sobre estos materiales, además que las normativas vigentes conforme a la mampostería de bloques de concreto se refiere, no se encuentra totalmente normado quedando una escases de información sobre este tema.

Es muy importante la indagación de los materiales que se usan en otros países y más aún si tenemos la disponibilidad de ellos en nuestro país, de manera que podamos adaptarlo a nuestra región y dar un uso correcto a estos, sacándole provecho a los materiales.

### **1.1.2. Planteamiento**

El desaprovechamiento de la mampostería simple de bloques de concreto como elemento estructural en la construcción de edificaciones en nuestra región se debe principalmente a:

- Insuficiente conocimiento sobre la utilización de los mampuestos.
- Poca investigación de estructuras realizadas con este material.
- Escaso conocimiento sobre los mampuestos y sus resistencias características.

Lo que acarrea como efectos de este problema, estructuras de sustentación sobre dimensionadas, pudiendo cometerse errores en la construcción de una edificación por el escaso conocimiento sobre los mampuestos y sus resistencias características, así también puede producirse inseguridad al decidir sobre el uso del bloque y limitación en la construcción de estructuras usando estos mampuestos.

Algunas de las soluciones posibles para enmendar el problema serían:

- Plantear y regular normativas que tomen en cuenta las propiedades de los materiales y la mano de obra local.
- Normalizar los procesos industriales para la elaboración de mampuestos y morteros con características estructurales.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las piezas y mampostería estructural simple de bloques de concreto.

### **1.1.3. Formulación**

El planteamiento de este trabajo investigación surge de la siguiente pregunta:

¿Cómo demostrar que la mampostería simple de bloques de concreto, puede ser usada para la conformación de muros portantes, en la construcción de edificaciones de nuestra región?

Considerando el tiempo dado para la investigación se descarta realizar normativas que tomen en cuenta las propiedades de los materiales y la mano de obra local, así como

también no se podrá normalizar los procesos industriales para la elaboración de mampuestos y morteros con características estructurales.

Siendo la alternativa más viable la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las piezas y mampostería estructural simple de bloques de concreto comprobando su buen funcionamiento estructural como elemento de sustentación.

#### **1.1.4. Sistematización**

Conforme avanzamos en tecnología se van creando y modificando diversos materiales con el fin de mejorarlos u optimizar su uso y la única manera de comprobar lo indicado, es mediante pruebas o ensayos de laboratorio.

Es por eso que para comprender el comportamiento estructural de manera adecuada de la mampostería estructural simple de bloques de concreto se identificó la necesidad de realizar un análisis de su comportamiento mecánico, además del análisis de los siguientes puntos:

- Clasificar los productos (bloques) de acuerdo a sus características como ser: geometría, porcentaje de huecos, absorción y resistencia mecánica.
- Forma de construcción de la mampostería:
  - Forma de apilado: Referente a la disposición de los mampuestos en un muro.
  - Argamasas utilizadas
- Estudiar el comportamiento mecánico de los mampuestos en laboratorio y realizar con los resultados gráficos comparativos de resistencia.
- Difundir los resultados encontrados.

## **1.2. Objetivos**

El presente trabajo de investigación tiene los siguientes propósitos:

### **General.**

- Determinar experimentalmente, a partir del elemento de ensayo (murete de bloques de concreto) la resistencia a compresión y a compresión diagonal (corte), usando mampuestos de dos fábricas diferentes disponibles en la región, comprobando de esta manera que pueden ser usadas como elementos portantes.

### **1.2.1. Específicos.**

- Realizar una investigación de las propiedades físicas y mecánicas de los mampuestos, y las características del mortero, a los efectos de identificar compatibilidad con los mampuestos.
- Establecer los procedimientos y parámetros a seguir para la correcta elaboración de los muretes de prueba para los ensayos a compresión y compresión diagonal (corte).
- Comparar los resultados experimentales de la resistencia de la mampostería simple de bloques de concreto utilizando mampuestos de dos fábricas diferentes.

### **1.3. Justificación.**

Las razones por las cuales se elabora este trabajo de investigación son las siguientes:

#### **1.3.1. Teórica**

El trabajo de investigación propone en función de teorías existentes, verificar experimentalmente el comportamiento mecánico de la mampostería estructural simple de bloques de concreto que puede ser usado como elemento de sustentación estructural para dar paso a nuevas alternativas para la construcción.

#### **1.3.2. Metodológica**

El resultado de la investigación permitirá establecer una base para el uso y aprovechamiento de la resistencia y características de la mampostería estructural simple bloques de concreto, realizando ensayos de laboratorio, seleccionando los especímenes y efectuando la caracterización de materiales, de manera que sea posible cuantificar la resistencia de la mampostería verificando su buen funcionamiento frente a las cargas en una estructura e introducir una información para la correcta aplicación de estos.

#### **1.3.3. Práctica**

Prácticamente al introducir información comprobada experimentalmente sobre las propiedades mecánicas y físicas de las piezas y mampostería estructural simple de bloques de concreto comercializados en nuestra región, se logra ampliar nuestras opciones al momento de plantear una estructura, dando mayor posibilidad de aprovechar correctamente la mampostería estructural simple de bloques de concreto.

### **1.4. Hipótesis**

Como parte del método de este trabajo se planteará la siguiente hipótesis para responder las preguntas de investigación.

- Las resistencias características a compresión y compresión diagonal (corte), obtenidas de la mampostería estructural simple de bloques de concreto de dos huecos fabricado en Tarija, es efectiva y suficiente para su funcionamiento como muros portantes.

## **1.5. Alcance del estudio**

### **1.5.1. Restricciones y limitaciones**

El campo del trabajo de investigación está delimitado solo a estudiar las características mecánicas de resistencia a compresión y compresión diagonal (corte) de la mampostería estructural simple de bloques de concreto, a través del análisis y diseño de una muestra sometida a ensayos que determinen la capacidad portante de este tipo de estructuras de fábrica.

## **1.6. Aspectos metodológicos**

### **1.6.1. Tipo de estudio**

El estudio se regirá al estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la mampostería estructural simple de bloques de concreto fabricado en Tarija. El mismo quedará delimitado en una línea de investigación experimental cuasi empírica, ya que se tiene como propósito aprovechar las características mecánicas de la mampostería simple para fines de uso estructural como elementos portantes, de manera que se implemente una nueva forma de construcción y oriente hacia una cultura de uso de estructuras de fábrica.

Se pretende comprobar resistencias y características estructurales mediante ensayos en laboratorio que se realizarán a manera de obtener resultados que verifiquen las hipótesis.

Se realizará ensayos generales tales como:

- Selección de muestras (bloques de primera calidad).- Se hará una revisión a las muestras de mampuestos verificando que estas no se encuentren rajadas.
- Definición de sus propiedades nominales.
- Se comprobará la uniformidad geométrica como dimensiones, planimetría, escuadra y fisuras.
- Se prepararán las muestras de manera que se tendrá un control riguroso en cuanto a: La superficie de contacto, alineado al picar y curado de la muestra.
- Se realizara pruebas de compresión al mortero utilizado como junta de la mampostería a los 28 días.

El conocimiento del comportamiento de la mampostería sometida a sollicitaciones de compresión y compresión diagonal (corte) es importante para la resistencia de edificios sometidos a fuerzas de compresión y fuerzas laterales, por lo que es necesario los siguientes ensayos:

**Determinación de la resistencia a compresión de la mampostería:** La resistencia a compresión de la mampostería se calculará según el área de contacto, mediante:

- Ensayos de compresión de muretes: Los muretes a ensayar se elaborarán reflejando las condiciones y calidad de materiales y mano de obra que se tendrán en la construcción. La resistencia característica a compresión se calculará según el área de contacto. Se considerará como edad de referencia los 28 días.

**Determinación de la resistencia a compresión diagonal (corte) de la mampostería:** Se puede delimitar de la manera siguiente:

- Ensayos a corte de muretes: La resistencia característica al corte de la mampostería se calculará con relación al área bruta correspondiente y se utilizará para su diseño y control.

Se considerará como edad de referencia a los 28 días. La resistencia se determinará mediante ensayos a compresión diagonal de muretes.

### **1.6.2. Metodología de investigación**

El tipo de metodología que se utilizará en la realización de esta investigación será el método científico, en vista que en dicho método se hace uso de un levantamiento de información, donde se hace una recopilación de sucesos y antecedentes que dependiendo de su análisis se buscaran opciones de soluciones factibles o viables de los problemas presentados; para el caso de este trabajo de investigación, por ser de índole novedoso en esta región, no se cuenta con suficiente información histórica disponible del caso específico, ni un problema definido con importancia significativa, sin embargo de lo que se trata es de presentar un nuevo material disponible para promover su uso en la industria de la construcción, por tanto se abordaran temas que tengan relación con el objeto de estudio de este trabajo en la búsqueda de la viabilidad técnica del uso de la mampostería de bloques de concreto como elementos portantes.

La resistencia a compresión de la mampostería se puede delimitar de dos maneras:

- Experimental
- Teórica

En forma experimental, se efectuará mediante ensayos sobre muretes de acuerdo a lo indicado en la norma de referencia, y la forma teórica se puede estimar a partir de las resistencias a compresión de las piezas de mampostería y del mortero.

Esta investigación se desarrollara en tres etapas, en las cuales se tratara de abordar los más significativos criterios de experimentación sobre bloques de concreto, así como el estudio de los morteros empleados en la mampostería. Posteriormente se analizaran los

resultados obtenidos y se aplicara en la experimentación de una manera conjunta de lo anterior en la mampostería de bloques de concreto.

#### **1.6.2.1. Normativa aplicable.**

Las normas establecen un criterio objetivo que debe tener un producto, proceso, sistema, persona o servicio; definen la seguridad, durabilidad, habilidad, fiabilidad, mantenimiento e intercambiabilidad. En ellas se unifican criterios respecto a determinadas materias y para la utilización de un lenguaje común en un campo de actividad concreto, es un pacto entre los fabricantes, los proveedores, los trabajadores, los consumidores, los usuarios y el gobierno donde se acuerdan las características técnicas que deberá reunir.

La mayoría de países tienen normativa propia, donde se indican los procedimientos y especificaciones para cada caso. Para su control de calidad, existen normas como la *American Society for Testing and Materials (ASTM)* que especifican los procedimientos y métodos de ensayo, en la mayoría de países de América Latina (entre los cuales se encuentran México, Brasil, Argentina, Colombia y Guatemala) y algunos de África y Asia se utilizan como referencia o son influenciadas por estas normas.

Para la comparación y análisis de los resultados se manejará las normas ASTM correlacionando éstas a los elementos que forman la mampostería de bloques de concreto y complementando también así a las NB (Normas Bolivianas), se usara de respaldo también la norma el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 Parte III. “Construcciones de mampostería”.

### **1.7. Tratamiento de la información.**

Una vez completada la recolección de datos se procederá a los cálculos matemáticos en el cálculo de gabinete.

Se determinará la resistencia característica a compresión estimada como el cuantil del 5% que no va a ser sobrepasada, en función al número de ensayos realizados. Los parámetros que influirán en el valor obtenido de resistencia son:

- Características del bloque.
- Características del mortero.
- Esbeltez del murete.
- Edad del murete.
- Espesor de la junta.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. Introducción a la mampostería estructural

Se entiende por mampostería un sistema constructivo consistente en colocar unidades de mampostería formadas o moldeadas que por lo general son suficientemente pequeñas para que una sola persona los manipule (de ahí su nombre de mampuesto que indica “puesto a mano”) tales como ladrillos, bloques, adobes o piedras, unidas unas con otras usualmente por medio de morteros para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento. El objetivo de los muros es garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.

Figura 2.1 Mampostería



Desde el punto de vista de su resistencia a las cargas, la mampostería puede ser: estructural (portante), cuando los muros que conforma deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos, no estructural, cuando los muros deben soportar tan sólo su propio peso y su función es servir como división entre dos espacios. La mampostería estructural también puede ser utilizada como divisoria.

La mampostería es un elemento el cual tiene buenas ventajas constructivas tales como facilidad de construcción, además de tener una muy buena resistencia bajo fuerzas compresivas pero tienen una gran debilidad ante fuerzas de tensión, ya que su

resistencia ante esta es casi nula. Por esta razón se comenzó a reforzar la mampostería con barras de acero.

Pero para zonas con amenaza sísmica baja, no es indispensable el refuerzo de estas con barras de acero. Por lo tanto, aparte de usos no estructurales, la mampostería es usada principalmente como un material de construcción para miembros verticales sujetos a cargas de gravedad y cargas menores laterales y deformaciones que pueden ser resistidas por el peso de las paredes de mampostería sin necesidad de usar refuerzo.

En todo proyecto de mampostería hay que cuidar aspectos importantes, como el control de calidad de los materiales a utilizar, contar con mano de obra con cierta experiencia y en el diseño se deben de considerar aspectos de modulación y distribución de los muros (carga y de relleno) así como el funcionamiento del conjunto de la estructura, de manera que se comporte adecuadamente ante requerimientos de cargas verticales y horizontales.

## **2.2. Historia de la mampostería**

La historia de la mampostería inicia cuando el hombre quiere protegerse de la intemperie, animales salvajes, etc., dando lugar a la necesidad de contar con un refugio.

Las primeras viviendas, data la historia de 35000-12000 años a.c. cuando un grupo de cazadores comenzaron a construir refugios de huesos y pieles (Mezhirich, Ucrania).

Se construían refugios de diferentes materiales de acuerdo a los recursos naturales que existían en el lugar. Una de las técnicas que principio hace miles de años es la mampostería de piedra a la cual se le encontraron grandes cualidades, como la resistencia a la intemperie (aire, agua, fuego, etc.), hasta la resistencia a los ataques de enemigos como las murallas. Esta técnica se basa en la apilación de piedras, que con el tiempo se fue mejorando con la implementación del mortero que facilitaba el acomodo de las piedras.

Como en algunos lugares no se contaba con piedras naturales, se vieron en la necesidad de elaborar piezas artificiales de tierra con agua, que las colocaban al sol para su secado, y así empezó la fabricación de piezas artificiales de mampostería.

Con el desarrollo de la mampostería de piezas artificiales, morteros aglutinantes y la implementación del acero, se ha logrado el mejoramiento de las estructuras.

Grandes avances se llevaron a cabo durante los siglos XVIII y XIX, intensos cambios tecnológicos condujeron a una salida de piezas de mampostería más creciente, a una calidad más alta y más constante y a precios más bajos. La energía de vapor, el perfeccionamiento del horno, el desarrollo de molinos, trituradoras, mezcladoras, extrusoras, prensas mecánicas y demás mecanizaron la tarea ardua de fabricación de piezas de mampostería que inicialmente se hacía a mano. Pero el cambio más importante llevado a cabo fue la implementación de métodos científicos en la producción de la mampostería, que indudablemente condujo a resultados más racionales que con el método puramente empírico que se llevaba en el pasado.

Entre otros se mencionan los siguientes avances tecnológicos:

En 1776 Parker (Gran Bretaña) patenta el “Cemento romano”, este cemento era básicamente una cal hidráulica; en 1824 Joseph Aspdin (Gran Bretaña) patenta el cemento Portland; entre 1820 y 1830 en Europa es inventada la máquina para extruir ladrillos de arcilla; por el año 1825 Brunel (Gran Bretaña) inicia el uso de la mampostería reforzada; el horno de producción continúa es inventado en Dinamarca en el año 1839; el bloque de concreto es patentado por Gibbs (Gran Bretaña) en 1850. El bloque de concreto era sólido hechos a mano en cimbras de madera, muy pesado ya que era elaborado de un tamaño muy grande, y por ello difícil de manejar. A finales del siglo XIX se ideó hacer el bloque hueco, observando que sus propiedades continuaban siendo satisfactorias a pesar de los huecos y desde ese momento los bloques sólidos empezaron a desaparecer.

En Francia Lambot inventa el concreto armado en el año 1850; el ladrillo sílico-calcáreo es patentado en 1866 (Gran Bretaña); Monier patenta el concreto armado en 1867 (Francia); en 1880 en Alemania se comienza la producción industrial del ladrillo sílico-calcáreo y en Francia por el año 1889 Cottancin patenta la mampostería reforzada.

En 1900 se patentaron los principios básicos de una máquina productora de bloques. Este primer proceso comercial para elaborar bloques de concreto se atribuye a Harold S. Palmer. La máquina productora de bloques era manual, en la que se llenaban los moldes a pala y se picaba la mezcla para un mejor acomodamiento de las partículas del concreto, se producían alrededor de 80 bloques por hora. Este método predominó entre los años 1904 a 1914.

En 1920, se realizaron en los Estados Unidos investigaciones sobre la mampostería reforzada. A raíz de estas investigaciones se desarrolló en 1924, la norma de la ciudad de Nueva York, esta reglamentaba la construcción de edificaciones con muros de carga en mampostería reforzada, hasta de 12 pisos de altura.

Alrededor de 1938 aparecieron las máquinas con un sistema vibrador, lo que produjo bloques de mejor consistencia y textura.

Las técnicas de curado para los bloques de hormigón también progresaron; se reemplazó el curado al aire con; curado con vapor de agua, curado con vapor de presión atmosférica, curado con vapor a alta presión (autoclave) y sistemas de curado con calor.

En la actualidad se combina la experiencia y la moderna tecnología, se fabrican diferentes clases de piezas, morteros de pega, refuerzo de acero y sistemas estructurales, bajo el continuo avance de la ciencia y con los requisitos exigidos por normas de diseño y construcción como pruebas de laboratorio y de campo para garantizar índices adecuados de calidad.

Como dato ilustrativo, puede señalarse que sólo en EE.UU. y Canadá se producen más de 5.000 millones de unidades equivalentes al bloque 20 x 20 x40, destinados a una gran variedad de aplicaciones, tales como edificación de viviendas, mampostería estructural en edificios de gran altura, tabiques divisorios, chimeneas, piletas de natación, silos, muros de sostenimiento, cámaras subterráneas y barreras sónicas, etc.

También como un ejemplo práctico podemos observar la fig. 2.2. Que muestra una edificación de bloques de concreto construida en Tarija, una de las pocas estructuras

hechas de este material, pero lo que asimismo comprueba el buen uso que se le puede dar a los bloques.

**Figura 2.2** Edificación hecha de mampostería de bloques de concreto



## **2.3. Tipos de muros**

Se pueden clasificar estos según diferentes aspectos:

### **2.3.1. Según su función**

La mampostería se cataloga según su sistema: Estructural y No Estructural.

#### **2.3.1.1. Muro estructural de mampostería**

Muro que soporta, en su plano, carga adicional a la de su propio peso, elaborado únicamente con mampostería. La mampostería estructural se clasifica de la subsiguiente manera.

### ✓ **Mampostería reforzada**

Es la mampostería que está conformada por unidades de perforación vertical, con refuerzo embebido en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. También tiene refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas. El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple. Los muros que la conforman deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos.

Figura 2.3 Mampostería Reforzada

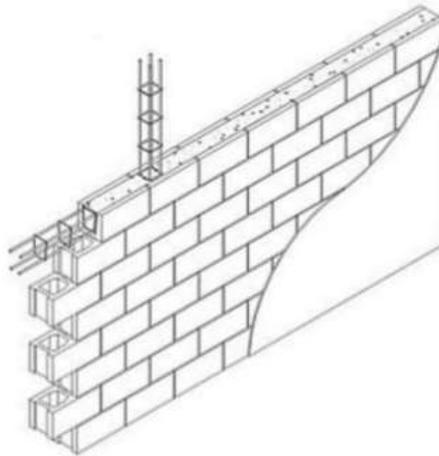


En las celdas verticales se permite la inyección total o parcial de mortero de relleno (Grouting) de acuerdo con características particulares de diseño dependiendo de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico. Al conjunto de celda rellena con mezcla y reforzada se denomina “Dovela”.

### ✓ **Mampostería confinada**

Es la mampostería con elementos de concreto reforzado (vigas y columnas de amarre), en su perímetro, vaciados después de construir el muro de mampostería simple.

Figura 2.4 Mampostería confinada



### ✓ Mampostería simple o no reforzada

Es el tipo de mampostería estructural sin refuerzo, consiste en muros construidos con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales. Son débiles a los sismos por lo que solo se recomienda su construcción en regiones con poca sismicidad y que se encuentren dentro de zonas de amenaza sísmica baja

Figura 2.5 Mampostería Simple



### 2.3.1.2. Muro no estructural de mampostería

Muro que no tiene que soportar, en su plano, carga diferente a la de su propio peso, que por lo general está dispuesto sólo para separar espacios, elaborado únicamente con mampostería.

### **2.3.2. Según su ubicación**

#### **✓ Muros exteriores**

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde podría haber presencia de agua al menos por un lado del muro, sea este portante o no, conlleva la necesidad de unidades de baja permeabilidad y absorción, con el fin de impedir la entrada de agua a través del muro. Desde el punto de vista de la resistencia, no se presenta como factor crítico, siempre y cuando soporte la intemperie y sea estable con el tiempo.

#### **✓ Muros interiores**

En muros interiores o particiones, las condiciones son las mínimas, pues se entiende que ni desde el punto de vista de cargas ni desde el hidráulico o térmico se van a presentar solicitaciones importantes. En estas condiciones merece un cuidado especial la uniformidad y estabilidad dimensional de las unidades, con el fin de reducir la cantidad de materiales de acabado y evitar la fisuración de los muros por separación de las unidades y el mortero.

### **2.3.3. Según su material**

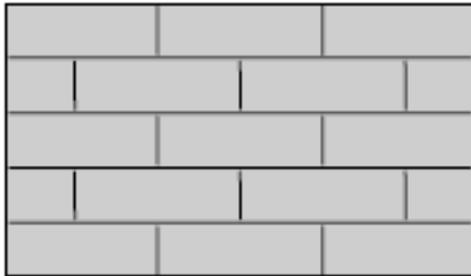
- De piedra
- De adobe
- De caña o bambú
- De ladrillo
- De block

## **2.4. Patrones de colocación (Aparejo)**

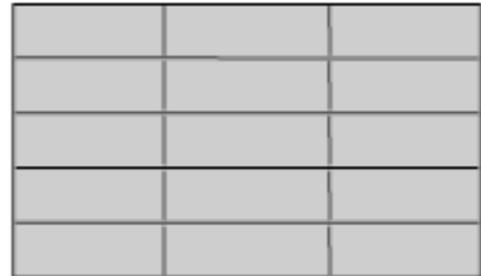
La disponibilidad de bloques en diferentes dimensiones permite combinarlos para obtener diversos tipos de aparejos, lográndose paramentos de distintas texturas arquitectónicas, que hacen aún más interesante la utilización del bloque de hormigón. Las figuras siguientes muestran algunos ejemplos de aparejos simples utilizando bloques enteros y medios bloques.

Los patrones de colocación comúnmente usados en nuestro medio son los presentados en la figura 2.6.

Figura 2.6 Aparejo de unidades



aparejo normal (trabado, cuatropeado)

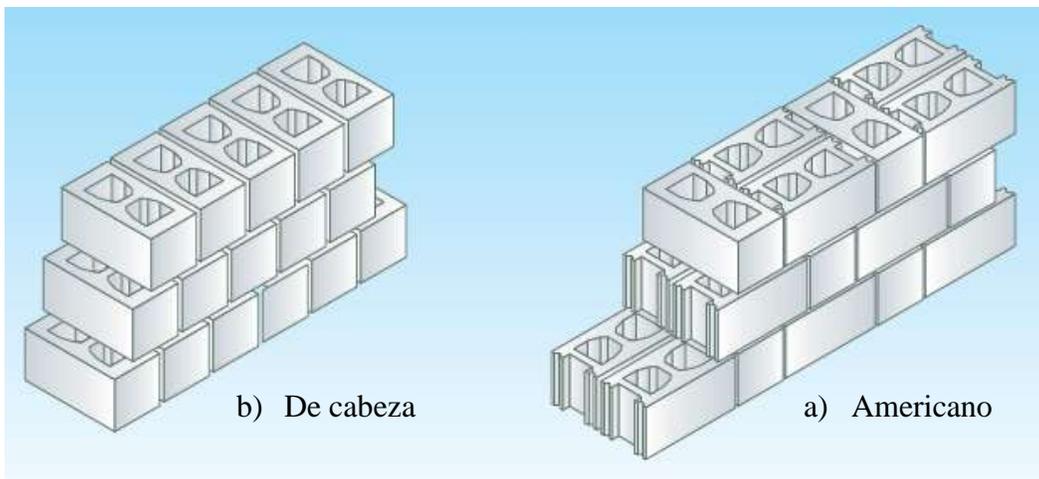


aparejo apilado (de petaca)

En bloques huecos el aparejo más habitual es la trabada, teniendo en cuenta la coincidencia vertical de las paredes longitudinales y verticales para transmisión de esfuerzos y de alveolos para la posibilidad de armado.

Otros aparejos en los que se muestra en fachada la cara menor o lateral entre ambas, se aprecian en la figura 2.7.

Figura 2.7 Aparejos poco usuales



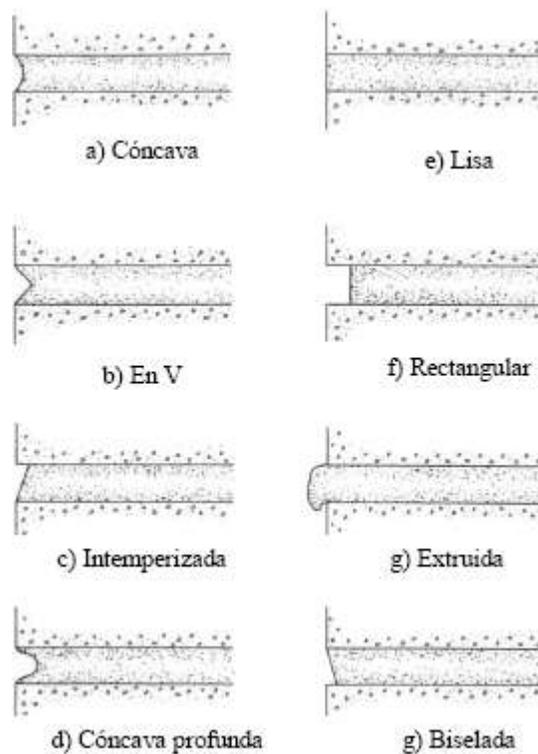
El aparejo dependerá del espesor necesario que deba tener el muro para soportar las solicitaciones.

## 2.5. Juntas según su material

Antes de que el mortero de junta se endurezca, pero que sea capaz de resistir la presión de un dedo, se procede a darle el acabado a la junta.

Además de la calidad estética, el acabado de las juntas es importante para darle impermeabilidad al muro. Existen acabados de juntas recomendables para exteriores e interiores.

Figura 2.8 Diferentes tipos de juntas de mortero



La figura 2.8. muestra ejemplos de juntas de mortero usadas comúnmente. Cada junta proporciona diferente apariencia arquitectónica a la pared. Sin embargo algunas juntas proporcionan una resistencia pobre a la intemperie como se dijo anteriormente, se debe tener cuidado en la elección del tipo de junta. La junta cóncava y en V es la más hermética y resistente contra el agua. La junta intemperizada y la junta cóncava profunda se comportan satisfactoriamente. La junta lisa, la rectangular, la biselada y la extruida no son resistentes al agua y no deberían ser usadas en paredes exteriores.

Para paredes interiores se pueden usar el que se desee, no existe restricción en la forma de las mismas, siempre y cuando no alteren la capacidad portante del muro.

Para el acabado de las juntas se utilizan ranuradores fabricados específicamente para cada tipo de junta, consistentes en varillas o perfiles de acero, aluminio o madera, ligeramente angulados en sus extremos y cuya geometría exterior por el lado convexo, corresponde al tipo de acabado.

## **2.6. Ventajas de la mampostería de bloques de hormigón**

El uso de unidades de mampostería de hormigón ofrece ventajas técnicas y económicas (modulación, resistencia a compresión, características térmicas y acústicas, rapidez y economía en la construcción), las unidades perforadas permiten usar grout (mezcla de material cementicio y agua, con o sin agregados) para rellenarlas y lograr continuidad en la estructura. El sistema de mampostería de bloques de concreto presenta grandes ventajas de orden económica y operativa como las mencionadas a continuación:

- Dada la modulación y las estrictas tolerancias de fabricación de las unidades, se disminuyen los desperdicios de material de muros y de cavados, permitiendo aplicar directamente sobre los muros, estucos delgados o pinturas, a aprovechar las texturas y colores naturales de las unidades corrientes o de las que tienen características arquitectónicas.
- Los elementos de cierre (fachada) pueden ser portantes, brindando la doble función estructural y arquitectónica.
- Dentro de las celdas verticales de los muros elaborados con bloques, se pueden colocar las conducciones eléctricas, hidrosanitarias y de telecomunicaciones. Además se eliminan, en gran cantidad, las perforaciones de los muros, las reparaciones y los desperdicios, lo que reduce mano de obra, fijaciones y materiales de reparación.
- Permite utilizar entrepisos total o parcialmente prefabricados, lo que da mayor velocidad al proceso constructivo y la disminución de costos por la reducción en la utilización de encofrados y obra falsa.

- Se eliminan vigas y pilares: Esto trae como consecuencia que las cargas lleguen a las fundaciones más distribuidas (en los muros) por lo que las tensiones van a ser menores.
- En obras debidamente diseñadas se puede construir toda la estructura con un solo material (la mampostería), reduciendo el número de proveedores y el manejo de materiales y equipos.
- El uso del bloque de hormigón implica una reducción apreciable en la mano de obra con respecto a otras mamposterías, especialmente por el menor número de unidades que se coloca por metro cuadrado; así como una menor cantidad de mortero a emplear en la construcción del muro, teniendo una gran velocidad y eficiencia en la construcción de los muros, por lo cual, muchos casos se reducen los costos por menos actividades, equipos y mano de obra.
- Facilidad de Capacitación de la Mano de obra: Los obreros pueden aprender rápidamente la forma de trabajar con bloques y su rendimiento es mucho mayor.
- Como sistema estructural y constructivo se puede emplear desde viviendas de bajo costo de uno o dos pisos, hasta edificios de gran altura y costo (dependiendo esto de la resistencia de los bloques de hormigón), pasando por los de uso industrial, comercial, hotelero, hospitalario, educativo, etc., siempre con grandes beneficios económicos.
- Rápida ejecución de Estructura: En mamposterías portantes, se reducen los tiempos de construcción puesto que no se requiere esperar tiempos de fraguado de una estructura de hormigón armado convencional, eliminando también los encofrados.
- Posee buena durabilidad, la mampostería (no armada) no presenta problemas de corrosión como las estructuras de hormigón armado, por lo cual se obtienen mayor durabilidad.
- Estética: La uniformidad de los elementos hace que las superficies de los muros resulten lisos y regulares, pudiéndose dejarlos sin revoque. En el caso de que se quiera revocar la pared, se tendrá un ahorro en el volumen del material de revoque, por la mencionada regularidad de los bloques, que requiere un menor espesor de revoque. También se pueden utilizar bloques texturizados

decorativos o bloques de color, mejorando el aspecto estético del muro eliminando el revoque.

- Cuando se combinan las características estructurales y arquitectónicas de la mampostería de concreto, se obtienen estructuras duraderas, de muy bajo mantenimiento y de gran apariencia.
- Permite diseñar para un gran aislamiento térmico y acústico, ya que los bloques poseen perforaciones cercanas al 50 % de su área bruta, brindando cámaras de aire aislantes para ambos factores, ya que se pueden llenar con materiales de características adecuadas para tal fin.
- Resistencia al fuego: La resistencia al fuego es mayor que con otros tipos de estructuras, tanto de hormigón armado como de madera.
- Existe una disminución en los acabados y una utilización racional del cemento.

### **2.7. Desventajas de la mampostería de bloques de hormigón**

Como desventajas relativas del sistema de mampostería de concreto se pueden anotar las siguientes, algunas de las cuales se convierten en beneficio para el usuario:

- Por ser un sistema diferente al de pórticos y a otros de muros (incluyendo otros tipos de mampostería), es indispensable estudiarlo e identificar sus características, para no incurrir en ligerezas en cuanto al manejo y funcionamiento de sus materiales (unidades, morteros, etc.), con el fin de eliminar los defectos recurrentes.
- Requiere controles de calidad rigurosos y sistemáticos que, aunque especificados, rara vez se ejecutan para otros sistemas constructivos
- Precisa de un diseño arquitectónico con una rigurosa modulación de muros, tanto vertical como horizontal, por lo que las condiciones arquitectónicas son más restrictivas. Se necesitan ciertas condiciones de regularidad y simetría.
- Tiene un peso ligeramente mayor que el de los edificios de pórticos de concreto con particiones livianas o de mampostería de arcilla.

- Dado que todos los muros en principio son estructurales (portantes), no se pueden modificar indiscriminadamente los espacios interiores de los edificios, suprimiendo algunos de ellos total o parcialmente.
- Provee, al igual que los edificios de muros de concreto, muros de gran dureza que dificultan su modificación o que se perfore o se clave en ellos.
- Por ser un sistema de muros portantes, tiende a generar estructuras regulares y repetitivas de apariencia pesada, con lo cual debe trabajar el arquitecto para sacar provecho de los materiales y hacerlas más dinámicas, o aprovecharlas para edificaciones repetitivas
- La falta de conocimiento para su correcta utilización, es un punto crucial, pues existen grandes restricciones por la falta de conocimiento. Otro punto importante es que en general el ingeniero se enfrenta a proyectos ya diseñados por arquitectos, en los cuales no se tuvieron en cuenta condiciones de simetría que permitan su construcción en mampostería estructural, por lo cual se suele pasar a la clásica solución de hormigón armado.
- Los fabricantes en general no brindan buena información sobre las propiedades de los bloques como su resistencia a la compresión.
- El proyecto de mampostería estructural debe estar integrado con los proyectos de sanitaria y eléctrica, por lo que se necesita una buena coordinación entre profesionales de distintas áreas. Es común que una vez levantados los muros, el electricista haga canaletas en donde su conciencia le dicte para pasar los cables, reduciendo así el espesor del muro. En las estructuras de hormigón armado esto no es problema, pero en una estructura de muro portante sí, por lo que las canalizaciones tanto para eléctrica como para sanitaria deberán estar previstas de antemano.

## **2.8. Normas aplicadas**

Para el control de calidad existen normas como lo es la American Society for Testing and Materials (ASTM) que especifican los procedimientos y métodos de ensayo, y en la mayoría de los países de América Latina y algunos de África y Asia se manejan

como referencia esta norma pero adaptadas a las condiciones de la región y a la mano de obra.

Las normas que se usarán como guías para evaluar los muretes son:

- Método estándar para la resistencia a compresión de prismas de mampostería (ASTM C-1314).
- Prismas de Bloques de Hormigón para Mampostería Estructural – Preparación de Probetas y ensayos a compresión (NB 1220045)
- Reglamento CIRSOC 103 Parte III - Construcciones de Mampostería.

## **2.9. Elementos de la mampostería de bloques de concreto**

### **2.9.1. Unidades (bloques de concreto)**

El bloque de concreto es una unidad de mampostería por lo general con uno o varios huecos, aunque también disponible en forma sólida, que se fabrica con los siguientes ingredientes: Agua, cemento Pórtland, cementos mezclados y diversos tipos de agregados, como lo son, arena, grava, piedra triturada, cenizas volcánicas, pómez, diferentes tipos de cuentas de plástico y escorias, estos son moldeados en formas especiales, vibrados o a presión mecánica.

En conjunto, se utilizan para elaborar una mampostería. Por lo general tienen forma de prisma rectangular.

La ventaja con este tipo de unidad de albañilería es que por su tamaño proporciona una economía en el tiempo de ejecución, en la utilización de mano de obra y en la cantidad de mortero necesaria, lo que conduce a un abaratamiento del costo de producción, además reduce el número de juntas.

Utilizando este material se economiza la construcción debido a que se elimina el revoque, tanto exterior como interior. Aplicando al exterior dos manos de pintura de cemento portland, que puede adquirir varios colores, asegura suficiente impermeabilidad.

Cuando se aplican revoques, la homogeneidad de los paramentos hace economizar una considerable cantidad de mezcla. Llenando los huecos con granulado volcánico, se puede aumentar el aislante térmico. Como estos huecos son demasiado grandes, su poder de aislamiento es muy reducido; en cambio se van creando numerosos huecos de tamaño más pequeño, el aislamiento aumenta en forma favorable.

Estas unidades de concreto utilizadas en el diseño y la construcción de estructuras de mampostería deben cumplir con las normas y especificaciones dispuestas por la norma de nuestro país (NB 1220035).

### **2.9.1.1. Características**

#### **✓ Densidad**

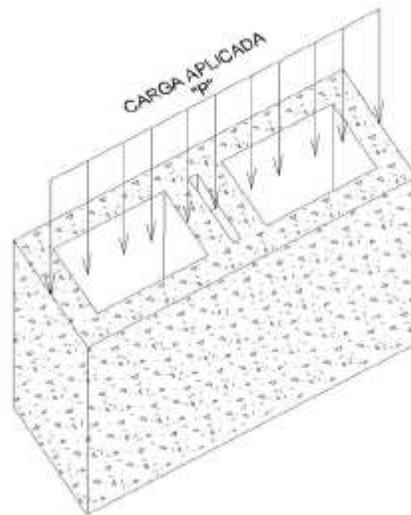
La densidad de las unidades de concreto para mampostería depende, fundamentalmente del peso de los agregados y del proceso de fabricación (compactación dada a la mezcla); y en menor grado de la dosificación de la mezcla.

Se debe buscar que la densidad sea siempre la máxima que se pueda alcanzar con los materiales, dosificaciones y equipos disponibles, pues de ella dependen directamente todas las demás características de las unidades como la resistencia a compresión, absorción, permeabilidad, durabilidad y su comportamiento al manipuleo durante la producción, transporte y manejo en obra; su capacidad de aislamiento térmico y acústico y las características de su superficie como la textura, el color, etc.

#### **✓ Resistencia a la compresión**

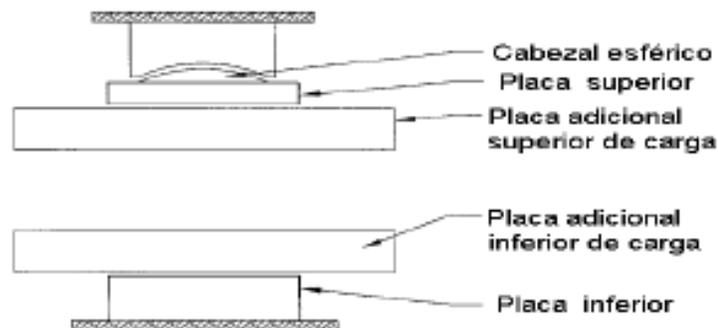
Es la principal cualidad que deben tener las unidades de mampostería y varía con el tipo de mampostería que con ellas se vaya a elaborar. Está especificada para ser alcanzada a los 28 días de producidas las unidades, sin embargo se pueden utilizar a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de unidades de iguales características. Se pueden especificar resistencias a compresión mayores cuando lo requiera el diseño estructural, en cuyo caso se debe consultar a los proveedores locales por la disponibilidad de este tipo de unidades.

Figura 2.9 Esquema de aplicación de carga en bloques



La norma ASTM C 140 determina que en la máquina de compresión debe tener una exactitud de  $\pm 1,0\%$  del rango de carga esperado, se deberá colocar una placa superior de transferencia de carga de metal endurecido, debe estar firmemente unida al cabezal superior de la máquina, como se describe en la figura 2.10.

Figura 2.10 Elementos utilizados en el ensayo de compresión de bloques de hormigón



**Fuente: ASTM C 140-03**

Cuando las dimensiones de la placa superior no fuesen suficientes para cubrir adecuadamente la pieza, se debe recurrir al uso de placas adicionales de acero para la aplicación de la carga de compresión, el espesor total de la placa según la NB 1220036 por cada apoyo debe ser de 50 mm como mínimo.

### ✓ Absorción

Es la propiedad del concreto de la unidad para absorber agua hasta llegar al punto de saturación. Está directamente relacionado con la permeabilidad de la unidad o sea el paso de agua a través de sus paredes. Los límites para la absorción varían según el tipo de concreto con que esté elaborada la unidad y su valor se determina mediante el ensayo correspondiente.

Es importante tener los menores niveles de absorción posibles, ya que a mayor absorción de las unidades, éstas sustraen más agua del mortero de pega y de inyección, reduciendo o anulando la hidratación del cemento en la superficie que los une, con lo cual se pierde adherencia y se originan fisuras.

Por el contrario, unidades totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación de una superficie de adherencia, dando como resultado uniones de baja resistencia, que se manifiestan como fisuras y que son permeables al agua. Una absorción baja reduce el ingreso de agua dentro de la masa de la unidad y, por ende, el de materiales contaminantes arrastrados por ésta, por lo cual se convierte en un requisito de calidad para la durabilidad.

**Tabla 2.1 Requisitos para la absorción**

Categoría de aplicación (CA)	Porcentaje de absorción promedio para:	
	Agregado denso y normal, en %	Agregado ligero, en %
I	≤ 10	≤ 13
II		
III		
IV		

**Fuente: NB 1220035**

El valor de la absorción de agua de cada pieza, en %, se calcula por la siguiente formula:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2-1)$$

Dónde:

a=absorción total, en %.

m<sub>1</sub>=masa de la pieza secada en horno, en g.

m<sub>2</sub>=masa de la pieza saturada con superficie seca, en g.

#### ✓ **Contenido de humedad**

A diferencia de la absorción, el contenido de humedad no es una propiedad del concreto de la unidad como tal sino un estado de presencia de humedad dentro de la masa del mismo, entre la saturación y el estado seco al horno. El control del contenido de humedad de las unidades es fundamental pues, dado que el concreto se expande y se contrae con el aumento o disminución de su humedad, la colocación de unidades muy húmedas conlleva su contracción posterior y la aparición de fisuras. Lo anterior implica que es indispensable mantener los menores contenidos de humedad posibles en las unidades en todo momento, para la cual es necesario que, una vez terminado el curado éstas se sequen y se conserven en dicho estado.

Si el ambiente en la obra es muy seco, la unidad puede perder más humedad por lo cual se podrá encoger más y se tendrá más fisuración.

Este potencial se disminuye si la humedad ambiente es mayor, el contenido de humedad permitido disminuye directamente con el contenido de humedad ambiente, para cada nivel de contracción lineal por secado.

#### ✓ **Aislamiento acústico**

Después de chocar con un muro las ondas de sonido son parcialmente reflejadas, absorbidas y transmitidas en cantidades variables, dependiendo de la clase de superficie y la composición del muro. El estudio de estas características es de suma importancia en el diseño de teatros y auditorios, hoteles, hospitales, viviendas, escuelas y oficinas, en donde los ruidos de habitaciones adyacentes y del exterior son inaceptables.

Debido a las perforaciones verticales de los bloques de concreto, su área neta transversal varía entre el 40 % y 50 % del área bruta, lo que proporciona cámaras aislantes que pueden ser reforzadas en su función al rellenarlas con materiales como espuma, fibra de vidrio, etc.

La absorción del sonido se acentúa en los bloques de concreto con textura abierta y disminuye, hasta en un 3%, cuando han sido recubiertos con acabados lisos que contribuyen a cerrar los poros. Los muros de mampostería arquitectónica de concreto absorben entre el 18% y el 69% del sonido, dependiendo de la textura del concreto y del acabado de la superficie.

#### ✓ **Acabado y apariencia**

Todas las unidades deben estar sanas y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con un proceso de colocación de la unidad apropiado, o que perjudiquen significativamente la resistencia o permanencia de la construcción. Las unidades que se van a utilizar como base para un recubrimiento posterior, deben tener una superficie con una textura lo suficientemente abierta que permita una buena adherencia.

#### ✓ **Características dimensionales**

La variabilidad en las dimensiones de las unidades de mampostería altera el espesor del muro y del mortero de pega, modificando las características estructurales constructivas (apariencia final del muro, niveles de enrase, alineación de juntas, acabados adicionales, etc.). El sistema de unidades de concreto para mampostería es rigurosamente modular, y dado su proceso de fabricación las medidas son muy precisas y constantes. Sin embargo, deben estar dentro de ciertos límites pues variaciones entre celdas de moldes o el desgaste de los mismos, pueden dar lugar a diferencias entre unidades supuestamente iguales.

Las dimensiones de una unidad de mampostería están definidas como su espesor, altura, ancho y longitud. Para cada una de ellas existen tres tipos de dimensiones, según el propósito:

- Dimensiones reales son las medidas directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad.
- Dimensiones especificada son las designadas por el fabricante en su catálogo o pliego (dimensiones de producción)
- Dimensiones nominales son iguales a las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega, o sea 10 mm.

Figura 2.11 Medición de la altura, espesor y largo del bloque



#### ✓ Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es otra de las características que ofrecen los muros de mampostería de concreto y es inversamente proporcional a la densidad del concreto de las unidades. Adicionalmente, las perforaciones de los bloques funcionan como cámaras aislantes, pues el aire es menos conductor térmico que el concreto.

De manera similar que para el aislamiento acústico, también se pueden rellenar las perforaciones con materiales que, por lo general, cumplen ambas funciones; o se pueden aprovechar las celdas que se conforman en los muros de bloques para permitir la circulación de aire por su interior y aliviar la carga de almacenamiento térmico el muro; o, en sistemas cerrados, para ganar térmica bajo láminas de vidrio en colectores solares.

✓ **Resistencia al fuego**

La resistencia al fuego de un muro está relacionada con el diseño y dimensiones de las unidades de mampostería, el tipo de agregados empleados en su fabricación, la relación cemento/agregados, el método de curado del concreto y su resistencia.

✓ **Contracción lineal por secado**

Refleja el grado de sensibilidad dimensional de la unidad a los cambios de humedad en su interior. Una unidad con una contracción lineal por secado mayor que otra se expande más al humedecerse y se encoge más al secarse que otra con un valor menor. La contracción lineal por secado es una característica del concreto de las unidades de mampostería dada por sus materiales (tipo y granulometría de los agregados, tipos y cantidad de cemento, etc.), dosificación y procesos de fabricación y curado.

**2.9.1.2. Resistencia característica aplicando la desviación normal para control de calidad.**

El valor de la resistencia característica a compresión ( $f_{bk}$ ) de los bloques de hormigón, debe ser determinado a partir de la siguiente expresión:

$$f_{bk} = f_{bm} - t\sigma \quad (2-2)$$

Dónde:

$f_{bm}$  = Es la resistencia promedio, expresada en MPa

$\sigma$  = Desviación típica de la muestra

$t$  = Coeficiente de distribución de Student según tabla 2.1. Esta distribución corresponde al cuantil del 5 %

Tabla 2.2 Relación entre el número de ejemplares y el coeficiente de distribución de Student

<b>N</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
<b>t</b>	1,9432	1,8946	1,8595	1,8331	1,8125	1,7823	1,7613	1,7459
<b>N</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>&gt;32</b>
<b>t</b>	1,7341	1,7247	1,7171	1,7109	1,7056	1,7011	1,6973	1,65

Fuente: NB 1220035

Las formulas estadísticas necesarias para obtener la resistencia característica son las siguientes:

$$f_{bm} = \left( \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \right) \quad (2-3)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  valores de resistencia a compresión resultantes de cada ensayo.

$n$ = Numero de muestras ensayadas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - f_{bm})^2 + (x_2 - f_{bm})^2 + \dots + (x_n - f_{bm})^2}{n-1}} \quad (2-4)$$

### 2.9.1.3. Aporte estructural

Su principal aporte es la capacidad de soportar cargas verticales (resistencia a compresión), otros son cerramientos, divisiones.

#### ✓ **Unidad portante**

Unidad que se puede utilizar para elaborar mampostería portante (estructural) o mampostería no portante (no estructural).

#### ✓ **Unidad no portante**

Unidad que se puede utilizar sólo para elaborar mampostería no portante (no estructural)

#### 2.9.1.4. Clasificación de bloques de hormigón

Los bloques se clasifican de acuerdo a distintos criterios y al conjunto de las combinaciones de los mismos.

Los criterios para la clasificación de bloques de hormigón son:

#### Criterio N°1: Categoría de Aplicación

Tabla 2.3 Categoría de aplicación

Categoría	Aplicación
I	Muros exteriores portantes, sin revestimiento
II	1 Muros exteriores portantes, con revestimiento
	2 Muros interiores portantes, con o sin revestimiento
III	Muros exteriores de cerramiento no portantes, sin revestimiento
IV	1 Muros exteriores de cerramiento no portantes, con revestimiento
	2 Muros interiores de cerramiento no portantes, con o sin revestimiento

Fuente: NB 1220035

#### Criterio N°2: Categoría resistente (RE)

La categoría resistente indica la resistencia característica a compresión de acuerdo a la categoría de aplicación.

Tabla 2.4 Resistencia a compresión según categoría de aplicación

Categoría AP	Resistencia característica a compresión a 28 días, en MPa
--------------	---

I	6
II	4
III	3
IV	2

**Fuente: NB 1220035**

### **Criterio N°3: Acabado superficial (AC)**

- Acabado liso “S”: Los bloques deben tener acabado liso y las caras expuestas no deben presentar fisuras ni desportilladuras. Su aplicación es recomendada para muros sin revestimiento.
- Acabado rugoso “G”: Los bloques destinados a ser revestidos deben presentar rugosidad suficiente para lograr una adecuada adherencia con el mortero de revestimiento.

### **Criterio N°4: Peso volumétrico (PV)**

- Bloque Liviano “L”: Con peso volumétrico menor a  $1680 \text{ Kg/m}^3$ .
- Bloque Medio “M”: Con peso volumétrico comprendido entre  $1680 \text{ Kg/m}^3$  y  $2000 \text{ Kg/m}^3$ .
- Bloque Normal “N”: Con peso volumétrico mayor a  $2000 \text{ Kg/m}^3$ .

### **Criterio N°5: Agregado grueso utilizado (AG)**

- Agregados densos, con peso volumétrico mayor a  $1900 \text{ Kg/m}^3$ .
- Agregados normales, con peso volumétrico comprendido entre  $1200 \text{ Kg/m}^3$  a  $1900 \text{ Kg/m}^3$ .
- Agregados ligeros, con peso volumétrico menor a  $1200 \text{ Kg/m}^3$ .

### 2.9.1.5. Normas aplicadas

Las normas más usadas o consultadas son:

- ASTM C-90 (Unidades de concreto para mampostería estructural)
- NB 1220035 (Bloques de hormigón para mampostería- Requisitos)
- NB 1220036 (Bloques de hormigón para mampostería- Método de Ensayo).

### 2.9.2. Morteros

La palabra mortero se deriva de la expresión latina mortarius, con que se designa el caldero que se usó para cocer la cal. Se entiende por mortero un material plástico apropiado para cerrar juntas de asiento y verticales, también las que quedan entre piedras desiguales o irregulares, y conseguir mediante un proceso de fraguado un cuerpo resistente a la compresión. Los morteros asimismo sirven para alisar las superficies de paredes, o para proteger fachadas con poca resistencia a la intemperie.

En construcción se da el nombre de mortero a una mezcla de uno o dos conglomerantes (yeso, cal o cemento) y arena. Amasada con agua, la mezcla da lugar a una pasta plástica o fluida que después fragua y endurece a consecuencia de unos procesos químicos que en ella se producen.

Reciben su nombre en función del aglomerante que se utilice para prepararlos. Así hay morteros de yeso (muy poco comunes), morteros de cal, morteros de cemento o morteros de cal y cemento.

El mortero se adhiere a las superficies más o menos irregulares de los ladrillos o bloques y da al conjunto cierta compacidad y resistencia a la compresión.

Pueden definirse como la mezcla de material aglomerante (cemento Pórtland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y

son ampliamente utilizados para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento, repello o revoque.

El mortero ocupa entre el 10 y 20 % del volumen total de material de una pared de mampostería, sin embargo, su efecto en el comportamiento de esta es mayor que lo que indica este porcentaje. Estéticamente, puede añadir un colorido adicional o un acabado muy particular a las paredes. Funcionalmente, el mortero liga las unidades de mampostería y sirve de sello para impedir la penetración de aire, agua y vectores.

Además se adhiere al refuerzo de las juntas, a las amarras metálicas y a los pernos anclados de tal modo que hace que actúen conjuntamente. Para la construcción y aplicaciones de cargas, el comportamiento del mortero incide tanto como la resistencia de las piezas de mampostería y la mano de obra.

Las propiedades estructurales de la mampostería están sujetas en general a dispersiones elevadas debido al poco control que puede ejercerse sobre las características de los materiales constructivos y sobre el proceso de construcción que es en general esencialmente artesanal.

### **2.9.2.1. Características del mortero**

El mortero en estado plástico debe fluir bien, ser trabajable, contar con una buena retención de agua y mantener dichas propiedades por largo tiempo, además, debe adherirse bien a las unidades de mampostería y ser consistente entre una preparación de mezcla y otra.

#### **✓ Trabajabilidad**

Es la propiedad esencial del mortero en estado plástico, mediante la cual puede ser manipulado y esparcido con facilidad sobre la cara superior de las paredes de las unidades de mampostería, las salientes de las mismas y alcanza un contacto íntimo y completo con las irregularidades de la superficie de estas. Lo opuesto a un mortero plástico es un mortero áspero.

La trabajabilidad está directamente relacionada con la plasticidad e indirectamente con la viscosidad, la cohesión, y la densidad. La trabajabilidad de un mortero es fácilmente reconocible por un buen albañil, pero no existe ensayo para cuantificarlo ni para medir sus características. Comúnmente se acepta como medida de la trabajabilidad el ensayo de fluidez o flujo de la mezcla.

#### ✓ **Retención de agua**

Esta propiedad le permite al mortero conservar el agua necesaria para la hidratación del cemento en ambientes como las superficies de las unidades de mampostería. La retención de agua se mejora con la adición de un retenedor de agua, e incide mucho en la rata de endurecimiento y en la resistencia final del mortero. Una mezcla incapaz de retener el agua no permite la hidratación de sus materiales cementantes.

### **2.9.2.2. Características del mortero endurecido**

#### ✓ **Resistencia a la compresión de morteros**

Este método de prueba provee un medio para determinar la resistencia a compresión del cemento hidráulico y otros morteros, y los resultados pueden ser utilizados para determinar el apego con las especificaciones. El método consiste en probar a compresión cubos de mortero de 2 pul. (50 mm), los cuales son apisonados en 2 capas. Los cubos son curados un día en los moldes y luego desmoldados e inmersos en agua con cal hasta ser ensayados.

Teniendo en cuenta la dispersión de resistencias a compresión del mortero a los 28 días de edad de las probetas, dada por las variaciones en los materiales y en el proceso de elaboración del mortero y probetas, se debe calcular el mortero para una resistencia un poco mayor que la requerida en el diseño, esto con el fin de asegurar que la resistencia promedio del mortero este por encima de la de diseño.

El ensayo de compresión consiste en tomar una muestra y llenar un molde en forma de cubo de 5 cm de arista con un procedimiento establecido, dejarlo fraguar durante 28 días en condiciones controladas y ensayarlo a compresión simple (se establecen

también ensayos de cubos a los 7 y 14 días para determinar la relación resistencia vs tiempo de fraguado).

La resistencia a la compresión se la obtiene con la siguiente fórmula según la ASTM C-109 (Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico "usando especímenes de 2 plg o de 50 mm"):

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (2-5)$$

Dónde:

$f_m$ = Esfuerzo o resistencia a la compresión en, MPa.

P= Carga máxima total en, KN o N.

A= Área de la superficie cargada (5 cm x 5 cm) en, cm<sup>2</sup> o mm<sup>2</sup>.

La tolerancia de tiempo en relación al momento de la rotura, en función de la edad de la probeta se muestra en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Tolerancia de roturas para probetas prismáticas**

Edad de rotura	Tolerancia
24 h	1 h
3 días	2 h
7 días	4 h
14 días	6 h
28 días	8 h
91 días	24 h

**Fuente: NB 1220039**

✓ **Adherencia**

Para lograr una adherencia adecuada es necesario que la superficie de las unidades de mampostería sea de textura lisa y abierta. Para permitir la unión mecánica del mortero y la unidad, esta debe tener una absorción adecuada, compatible con el mortero. Como ya se dijo, las unidades muy absorbentes sustraen el agua del mortero y no permiten la hidratación del cemento en la superficie que los une. Por el contrario, unidades totalmente impermeables impiden la creación de una superficie de contacto. Es importante también que el mortero tenga la suficiente plasticidad y la retención de agua necesaria para que no se debilite la unión con la unidad, que debe ser tan íntima como sea posible.

De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. Se puede concluir, entonces que esta propiedad es de importancia vital para el correcto funcionamiento de muros sometidos a flexión o a cargas horizontales.

La adherencia se puede mejorar con morteros que tengan una apropiada dosificación, buen manejabilidad y que sean colocados adecuadamente.

#### ✓ **Durabilidad**

Es la resistencia del mortero a los agentes exteriores sin presentar deterioro de sus condiciones físicas con el tiempo. Está íntimamente relacionada con su densidad y con el contenido de cemento, por lo cual es muy importante observar las dosificaciones.

#### **2.9.2.3. Tipos de mortero**

##### ✓ **De acuerdo al medio**

- Aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Hidráulicos, que endurecen bajo efecto del agua, desarrollan resistencias iniciales relativamente altas.

##### ✓ **De acuerdo con el aglomerante que constituya el mortero**

- Morteros calcáreos: Como es sabido, la cal es un plastificante y ligador conocido desde la antigüedad, estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo no pueden esperarse de él altas resistencias iniciales, debido a su baja velocidad de endurecimiento. Las proporciones cal-agregado más usadas en morteros aéreos son 1:2 para repellos y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta, el mortero es más pobre, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en repellos.
- Morteros de cemento Pórtland y cal: Los morteros de cemento Pórtland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento Pórtland, es importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria.
- Morteros de cemento: Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la relación agua-cemento usada. La fabricación de este mortero, que es hidráulico ha de efectuarse de un modo continuo, de manera que entre el mezclado y la colocación en obra se tenga el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra primero el cemento y el agregado y luego se añade el agua. Lo acostumbrado en el uso de morteros de cemento es la dosificación por partes de cemento y agregado (1: n) la mayoría de las veces desconociéndose la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos.

✓ **Según su aplicación**

➤ **Levantado**

El caso de los morteros de levantado si tienen aporte estructural más significativo, teniendo requerimientos de cargas de compresión, corte, adherencia y tensión. Su trabajabilidad, tiempos de fraguado, retención de agua entre otras características son diferentes, además es importante conocer la unidad de mampostería donde se aplicarán

para que exista un adecuado comportamiento entre estos dos elementos. A continuación se presenta el aporte estructural del mortero de levantado:

- Unión de bloques.
- Resistencia a la compresión igual o mayor que la de los bloques.
- Otros aportes como impermeabilidad, estética.

#### ➤ **Acabados**

Es un mortero con diferente cantidad de capas según los componentes y la función que debe desempeñar. Para interiores solo tiene como finalidad dar mejor terminación, para exteriores además de dar mejor terminación también da impermeabilidad y protege las paredes de los agentes climáticos.

#### ✓ **Según normativa**

En Bolivia, el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) es el organismo encargado de la normalización, aunque en el tema de morteros generalmente se aplica la norma **ASTM C-270** “*Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*” (Especificación estándar para morteros de mampostería), en ella se definen los tipos de morteros: M, S, N y O, pueden ser especificados por proporción o por propiedades, para lo cual la selección de un tipo particular de mortero se da generalmente en función de las necesidades del elemento estructural acabado.

**Tipo M:** Es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros morteros. Use este tipo para mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, a las cargas laterales de tierra, vientos fuertes o temblores. Debido a su durabilidad superior, el tipo M debe usarse en estructuras en contacto con el suelo tales como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de aguas servidas y pozos.

**Tipo S:** Alcanza a la resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar. Use el tipo S para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren a la resistencia de adherencia. También use el tipo S donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos de terracota o baldosas de barro cocido.

**Tipo N:** Es un mortero de propósito general a ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno para enchapes de mampostería, paredes internas y divisiones. Este mortero de mediana resistencia representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.

**Tipo O:** Es un mortero de baja resistencia y mucha cal. Úselo en paredes y divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. El mortero tipo O se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo.

Los morteros M, S y N son los apropiados para utilizar en mampostería estructural por recomendación de la norma.

A continuación se muestra en la tabla 2.6 que muestra la dosificación de los morteros por proporción y la tabla 2.7 la clasificación de morteros, según su resistencia a la compresión a 28 días y según dosificación (partes por volumen o por peso).

**Tabla 2.6 Requerimiento de las especificaciones por proporciones**

Proporción por volumen (materiales cementantes)										
Mortero	tipo	Cemento Portland o cemento mezclado	Cemento de mortero			Cemento de mampostería			Cal hidratada o macilla de cal	Razón de agregados (medidos en condiciones de humedad y sueltos)
			M	S	N	M	S	N		
Cal - Cemento	M	1	...	...	...	...	...	...	¼	No menos que 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes.
	S	1	...	...	...	...	...	arriba ¼ a ½		
	N	1	...	...	...	...	...	arriba ½ a 1¼		
	O	1	...	...	...	...	...	arriba 1¼ a 2½		
	M	1	...	...	1	...	...	...		

Cemento de mortero	M	...	1	...	...	...	...	...	...
	S	½	...	...	1	...	...	...	...
	S	...	...	1	...	...	...	...	...
	N	...	...	...	1	...	...	...	...
	O	...	...	...	1	...	...	...	...
Cemento de mampostería	M	1	...	...	...	...	...	1	...
	M	...	...	...	...	1	...	...	...
	S	½	...	...	...	...	...	1	...
	S	...	...	...	...	...	1	...	...
	N	...	...	...	...	...	...	1	...
	O	...	...	...	...	...	...	1	...

Fuente: ASTM C270-07

Tabla 2.7 Requerimiento para especificación por propiedades

Mortero	tipo	Promedio mínimo de resistencia a la compresión a los 28 días, psi (MPa)	Retención de Agua, % mínimo	Contenido de aire, % máximo	Razón de agregados (medidos en condiciones de humedad y sueltos)
Cal - Cemento	M	2500 (17,2)	75	12	No menos que 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes.
	S	1800 (12,4)	75	12	
	N	750 (5,2)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	350 (2,4)	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento de mortero	M	2500 (17,2)	75	12	
	S	1800 (12,4)	75	12	
	N	750 (5,2)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	350 (2,4)	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento de mampostería	M	2500 (17,2)	75	18	
	S	1800 (12,4)	75	18	
	N	750 (5,2)	75	20 <sup>D</sup>	
	O	350 (2,4)	75	20 <sup>D</sup>	

<sup>C</sup> Cuando el refuerzo estructural es incorporado en el mortero de cal – cemento, el máximo contenido de aire será 12%

<sup>D</sup> Cuando el refuerzo estructural es incorporado en mortero de cemento para mampostería, el máximo contenido de aire será 18%.

**Fuente: ASTM C270-07**

#### **2.9.2.4. Agregados**

Los agregados finos llamados arenas o áridos, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento; sin embargo, hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero, tales como las escorias de alto horno, los materiales de origen volcánico en que hay sílice activo, y el ladrillo triturado, entre otros.

Pero otros que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del mortero y su durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

#### **✓ Tipos de agregados**

De acuerdo con el origen de los agregados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Agregados naturales:** Son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y rocas naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.
- b) Agregados artificiales:** Estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: Arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro y otros. Por lo general son más ligeros o pesados que los ordinarios.

### ✓ **Propiedades de los agregados**

La norma que especifica las propiedades de los agregados es la ASTM C144-03 “Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar” (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería). Las propiedades a cumplir con dicha norma son:

- a) El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien gradado. Su selección depende de la disponibilidad de él en la zona (depósitos aluviales, de cantera, etc.), costo de explotación y transporte y de su eventual comportamiento en el mortero en cuanto a consistencia, resistencia y tamaños existentes representados en el módulo de finura
- b) De la graduación del agregado depende en un alto porcentaje la trabajabilidad y la penetración de humedad. Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye.
- c) Por lo general las arenas naturales (depósitos, sedimentarios, ríos, etc.) producen morteros de resistencias más altas que las de cantera, obtenidas por medio de voladura, o por trituración, siendo este efecto más notorio en morteros pobres de cemento

La granulometría es una propiedad física de los agregados que trata de la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

Figura 2.12 Juego de tamices



El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices (Figura 2.12), que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma (ASTM C 136). Actualmente la designación de tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla, medida en milímetros o micras. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla N° 100 (150 micras) hasta 9.52 mm

La granulometría y los límites de granulometría, se expresan usualmente como porcentajes de material que pasa cada malla.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y de cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, porosidad, etc. Las variaciones de granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad. En general, aquellos agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y tienen una curva granulométrica suave producirán los resultados más satisfactorios.

La granulometría adecuada de los agregados corresponde a la dada en la tabla 2.8 teniendo en cuenta que no se debe contener más del 50 % del material retenido en dos tamices consecutivos y nomas del 25 % entre el tamiz N° 50 y el tamiz N° 100.

Tabla 2.8 Límites de granulometría para arena natural y arena manufacturada

Dimensiones de abertura del tamiz	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena Manufacturada
4,75 mm (Nº 4)	100	100
2,36 mm (Nº 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (Nº 16)	70 a 100	70 a 100
600 µm (Nº 30)	40 a 75	40 a 75
300 µm (Nº 50)	10 a 35	20 a 40
150 µm (Nº 100)	2 a 15	10 a 25
75 µm (Nº 200)	0 a 5	0 a 10

Fuente: NB 1220047

Vale recalcar que la tabla 2.8 presentada anteriormente expuesta en la NB 1220047 es idéntica a la que se tiene en la ASTM C270.

Si el agregado está completamente dentro de los límites de gradación recomendados implica que tiene una granulometría que garantiza la presencia de todos los tamaños para conformar un mortero con buena trabajabilidad y adherencia. En caso contrario si la arena es muy fina se consiguen morteros frágiles y permeables; y si es muy gruesa se disminuye la trabajabilidad.

#### 2.9.2.5. Características del agua

En relación con su empleo en el mortero, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente.

El agua como se mencionó anteriormente influye en la trabajabilidad de la mezcla además de hidratar el cemento.

Se puede definir como aquel componente del mortero, en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.

El agua es el líquido que está presente de manera importante en la elaboración de concretos y/o morteros, mezclas, en el lavado de agregados, curado y riego de concreto; por consiguiente debe ser un insumo limpio, libre de aceite, ácidos, álcalis, sales y, en general de cualquier material que pueda ser perjudicial, según el caso para el que se utilice.

#### **2.9.2.6.Cemento**

El cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y durable.

#### **2.9.2.7.Aporte estructural**

Las zonas de contacto entre las piezas individuales constituyen planos de debilidad para la transmisión de esfuerzos de tensión y de cortante.

La resistencia a la compresión del mortero incide en la capacidad del muro para transmitir cargas de compresión y es un indicativo de la resistencia a esfuerzos de corte y a esfuerzos de tracción.

De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. Se puede concluir, entonces, que esta propiedad es de importancia vital para el correcto funcionamiento de muros sometidos a flexión o a cargas horizontales. En general los morteros deberán de contar con:

- Buena plasticidad para permitir el manejo manual.
- Impermeabilidad, facilitada por adición de cal.
- Buena capacidad de retención del agua mientras se cumple el proceso de hidratación del cemento.
- Uniformidad en:
  - Contenido de arena y cemento.
  - Granulometría de la arena.

Debido a los costos que representan los morteros de mampostería dentro de cualquier proyecto se deberá tener un adecuado control de calidad en materiales y mano de obra.

#### **2.9.2.8. Normas aplicables**

La norma que generalmente se utiliza como referencia es la norma ASTM C-270 pero además de esta se usa el ofrecido por el Instituto Bolivianos de Normalización y Calidad (IBNORCA):

- ASTM C-270 Especificaciones del mortero para unidades de mampostería
- NB 12220037 Morteros de junta para mampostería de bloques de hormigón, revestimiento de muros, cielos rasos y pisos - Requisitos.
- NB 1220047 Áridos para morteros de junta de mampostería de bloques de hormigón y revestimiento para muros y techos – Requisitos.
- ASTM C 109 Método De Prueba Estándar Para La Resistencia A La Compresión De Morteros De Cemento Hidráulico (Usando Especímenes De 2 Pulgadas O De [50 Mm])

#### **2.10. Características de la mampostería de bloques de concreto**

La mampostería agrupa los elementos antes descritos por lo que la variabilidad de sus propiedades es mayor que la de sus componentes individuales. Sin embargo es la función en conjunto la que más importa y para diseño el parámetro básico que se utiliza es la resistencia a la compresión de la mampostería a los 28 días de su fabricación.

##### **2.10.1. Resistencia Básica a la Compresión**

La forma más común para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería, es mediante pruebas de compresión en pilas de bloques de hormigón pegados con mortero uno sobre otro.

El comportamiento y la forma de falla del prisma depende de la interacción bloque – mortero. El bloque y el mortero por ser materiales diferentes, ante un mismo esfuerzo de compresión se deforman lateralmente de manera distinta.

Si se utiliza este procedimiento de ensayos sobre pilas, el valor de la resistencia básica a la compresión  $\sigma'_{mo}$  de la mampostería podrá tomarse igual que la resistencia característica  $\sigma'_{mk}$ , la cual, a su vez, se determinará considerando que su valor debe ser alcanzado en el **95 %** de los ensayos realizados sobre el número de especímenes (pilas) que luego se especifica.

La resistencia  $\sigma'_{mo}$  de la mampostería se determinará a la edad para la cual se espera será solicitada a su capacidad máxima. Se consideran 28 días como edad de referencia.

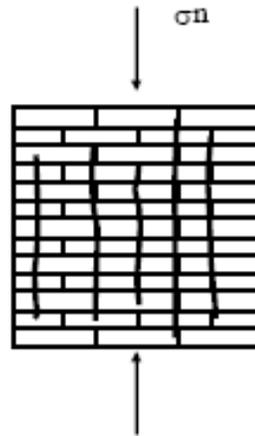
Los muretes de mampostería deberán elaborarse reflejando, tanto como sea posible, las condiciones y calidad de materiales y mano de obra que se tendrán efectivamente en la construcción. En este aspecto, se tendrán especialmente en cuenta la consistencia y el tipo de mortero, el contenido de humedad de los mampuestos y los espesores de las juntas.

Su valor debe calcularse como el cociente entre la carga máxima y el valor del área de la sección transversal, cuando el prisma tenga los huecos llenos, se deberá de utilizar el valor del área bruta, con los huecos vacíos se utilizara el área de contacto. Entre los factores que la pueden afectar tenemos los siguientes:

- Tipo y geometría de las unidades.
- Características del mortero.
- Humedad y absorción de las unidades.

La falla típica son grietas verticales entre las unidades producidas por las deformaciones transversales (Figura 2.13), si se tienen unidades con resistencia baja se pueden producir fallas por aplastamiento.

Figura 2.13 Compresión perpendicular a las juntas horizontales



Fórmula para calcular la resistencia a compresión en muretes:

$$\sigma'_m = \frac{F}{A_n} \quad (2-6)$$

Dónde:

$\sigma'_m$  = Esfuerzo de compresión último, en Kg/cm<sup>2</sup>.

$F$  = Carga de compresión ultima, en Kg.

$A_n$  = Área neta del murete, en cm<sup>2</sup>.

La resistencia característica a la compresión de la mampostería (Reglamento CIRSOC 103 Parte III) se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\sigma'_{mk} = \overline{\sigma'_m} (1 - 1,8 \delta) \quad (2-7)$$

Dónde:

$\sigma'_{mk}$  = Resistencia característica a la compresión de la mampostería.

$\overline{\sigma'_m}$  = Promedio de las resistencias determinadas mediante los ensayos.

$\delta$  = Coeficiente de variación, cuyo valor no podrá ser menor que 0,12.

$$\delta = \frac{\sigma}{\overline{\sigma'_m}} > 0,12 \quad (2-8)$$

$\sigma$  = Desviación típica de la muestra. Se obtiene con la fórmula (2-4) expresada anteriormente.

También se puede determinar la resistencia a la compresión de la mampostería mediante otros procedimientos expuestos en el Reglamento CIRSOC 103 Parte III.

✓ **Resistencia de mampuestos y morteros tipificados**

Cuando no resulte posible la ejecución de ensayos sobre pilas, la resistencia básica a la compresión de la mampostería, podrá determinarse en base a la resistencia característica  $f_{bk}$  de los mampuestos utilizados y al tipo de mortero empleado.

**Tabla 2.9** Proporciones de los morteros según la práctica actual

Mortero Tipo	Cemento : cal : arena	Resistencia mínima a compresión a 28 días (MN/m <sup>2</sup> )
<b>E (Elevada)</b>	1 : 0 : 3 (Cementicio puro)	15
	1 : ¼ : 3	
<b>I (Intermedia)</b>	1 : ½ : 4	10
<b>N (Normal)</b>	1 : 1 : 5	5
	1 : 1 : 6	

**Fuente: Reglamento CIRSOC 103 Parte III**

La correlación entre la resistencia básica a la compresión  $\sigma'_{mo}$  de la mampostería, la resistencia característica  $f_{bk}$  de los mampuestos y el tipo de mortero, se establecerá mediante la siguiente expresión:

$$\sigma'_{mk} = f_m * f_{bk} \quad (2-9)$$

Dónde:

$\sigma'_{mk}$  = Resistencia básica a la compresión de la mampostería (MPa).

$f_{bk}$  = Resistencia característica a la compresión de los mampuestos utilizados (MPa).

$f_m$  = Factor de correlación entre  $\sigma'_{mo}$  y  $f_{bk}$ , el cual depende de los tipos de mampuestos y morteros utilizados, y cuyos valores se indican en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Factor  $f_m$  de correlación entre  $\sigma'_{mo}$  y  $f_{bk}$

Tipo de mampuesto	Valores de $f_m$		
	Tipo de mortero		
	Resistencia Elevada (E)	Resistencia Intermedia (I)	Resistencia Normal (N)
Bloques huecos portantes de hormigón	0,55	0,50	0,45

Fuente: Reglamento CIRSOC 103 Parte III

#### ✓ Valores indicativos

Este procedimiento consiste en adoptar los valores normativos de la resistencia básica a la compresión  $\sigma'_{mo}$  de la mampostería, indicados en la Tabla 2.11, en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros.

En este caso no se requieren determinaciones experimentales, pero deberán tomarse las precauciones necesarias para obtener en la obra, las características mínimas exigidas para los materiales a utilizar.

Tabla 2.11 Valores de  $\sigma'_{mk}$  en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros

Tipo de mampuesto	Valores de $\sigma'_{mk}$ en MPa		
	Tipo de mortero		
	Resistencia Elevada (E)	Resistencia Intermedia (I)	Resistencia Normal (N)

Bloques huecos portantes de hormigón Tipo I (6,5 MPa) ó II (5 MPa)	3	2,5	1,5
--	---	-----	-----

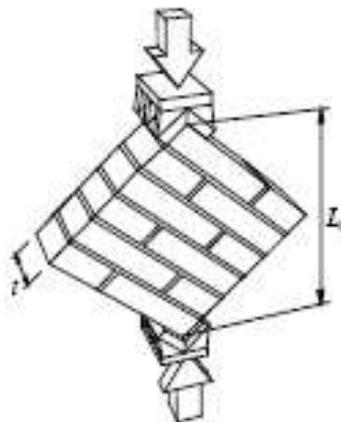
**Fuente: Reglamento CIRSOC 103 Parte III**

### 2.10.2. Resistencia básica a la compresión diagonal (corte)

El ensayo de compresión diagonal de muretes de mampostería se efectúa aplicando una carga de compresión según la diagonal del murete (figura 2.14), hasta llegar a la rotura.

La resistencia básica de corte debe calcularse como el cociente entre la carga de agrietamiento diagonal y el área bruta de la sección diagonal del murete.

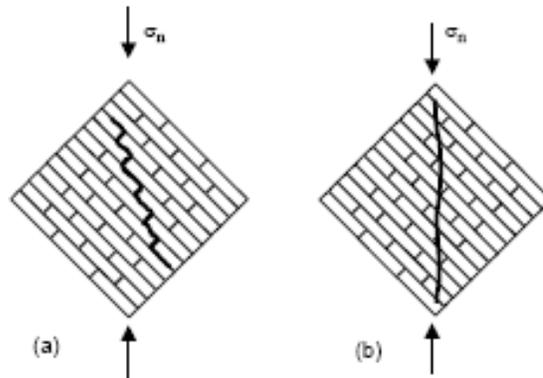
Figura 2.14 Compresión diagonal en murete



Los muros de mampostería están generalmente diseñados para resistir cargas axiales. Sin embargo en muchas ocasiones resultan sometidos a sollicitaciones en el plano y fuera de él como consecuencia de cargas laterales tales como sismos. La resistencia en

el plano está dada por la resistencia a corte de la junta de mortero y por la fricción debida a la carga vertical.

- \* Dependiendo de la forma de construcción de las juntas de mortero (Figura 2.15.(a))
- \* Rotura por tracción diagonal (Figura 2.15. (b))



**Figura 2.15 Modo de falla de muros de mampostería (a) Falla por deslizamiento de las juntas de mortero, (b) Falla por tensión diagonal**

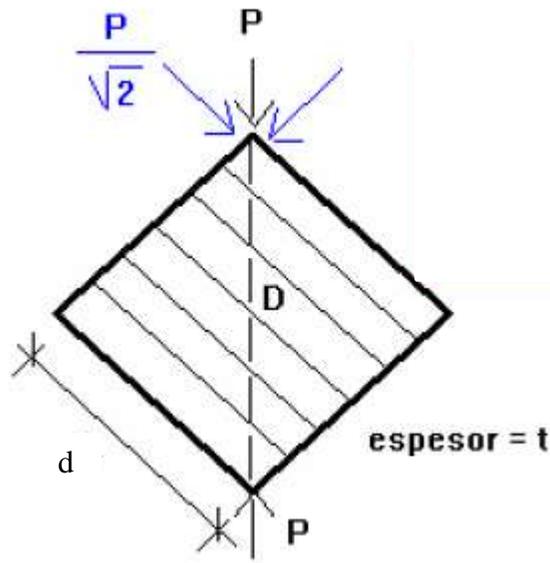
La falla por deslizamiento a través de las juntas de mortero, es una falla fuera del plano, en la que aparecen fisuras a lo largo de las juntas horizontales de mortero y se produce cuando la resistencia de los mampuestos es alta en comparación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas, por lo que el agrietamiento ocurre en el elemento débil que en este caso es la junta. El segundo modo de falla es una falla en el plano, caracterizado generalmente por una fisura de tracción diagonal. Este tipo de falla se da normalmente cuando la resistencia a tracción de los mampuestos es baja en relación con la resistencia de adherencia del mortero con los mampuestos.

Los especímenes se ensayarán, en general, a la edad de 28 días, la cual se considera como edad de referencia.

Como ya se dijo antes la resistencia a compresión axial del murete ( $\sigma'_{mo}$ ), se obtiene dividiendo la carga de rotura entre el área neta de la unidad de albañilería (hueca o sólida), mientras que la resistencia a corte puro de un murete ( $\tau_m$ ) se determina

dividiendo la carga diagonal de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada (“D t” en la Fig.2.16), que es lo mismo que dividir la carga diagonal proyectada en la dirección de las hiladas entre el área bruta de la hilada (“L t”) en muretes cuadrados.

Figura 2.16 Resistencia al corte



$$\tau_m = \frac{P}{D \cdot t} \quad \longrightarrow \quad \tau_m = \frac{P/\sqrt{2}}{d \cdot t}$$

$$\quad \longrightarrow \quad \tau_m = 0,707 * \frac{P}{d \cdot t} \quad (2-10)$$

La resistencia característica al corte  $\tau_{mk}$  de la mampostería se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\tau_{mk} = \bar{\tau}_m (1 - 1.8 \delta) \quad (2-11)$$

Dónde:

$\tau_{mk}$  = Resistencia característica al corte de la mampostería.

$\bar{\tau}_m$  = El promedio de las resistencias al corte determinadas mediante los ensayos de compresión diagonal.

$\delta$  = El coeficiente de variación, cuyo valor no podrá ser menor que 0,12. Para este coeficiente se usa la ec. (2-8).

$\sigma$  = Desviación típica de la muestra. Se obtiene con la formula (2-4) expresada anteriormente.

Otro procedimiento usado para la obtención de la resistencia básica al corte según el Reglamento CIRSOC 103 Parte III es:

✓ **Valores indicativos**

Cuando no resulte posible la ejecución de ensayos a la compresión diagonal de muretes de mampostería, se adoptarán los valores normativos indicados en la Tabla 2.12, correspondientes a los tipos usuales de mampuestos y morteros.

Deberán tomarse las precauciones necesarias para obtener en obra, las características mínimas exigidas para los materiales a utilizar.

Tabla 2.12 Valores de  $\tau_m$  en función de los tipos usuales de mampuestos y morteros

Tipo de mampuesto	Valores de $\tau_m$ en MPa		
	Tipo de mortero		
	Resistencia Elevada (E)	Resistencia Intermedia (I)	Resistencia Normal (N)
Bloques huecos portantes de hormigón Tipo I (6,5 MPa) ó II (5 MPa)	0,35	0,30	0,25

Fuente: Reglamento CIRSOC 103 Parte III



**CAPÍTULO III**

**DESARROLLO DE LA**

**INVESTIGACIÓN**

### **3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1 Resumen de la investigación**

En el presente capítulo se describe el proceso para la elaboración y recopilación de datos de los ensayos realizados en el laboratorio necesarios para el desarrollo de la investigación.

Este trabajo forma parte de un proceso experimental llevado a cabo en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, cuyo objetivo es determinar las propiedades físicas y mecánicas de la mampostería simple de bloques de hormigón cuyos mampuestos son producidos en la ciudad de Tarija.

En esta etapa de la investigación se caracterizó el bloque de hormigón con dimensiones específicas de 19x19x39 cm, de largo, ancho y alto, piezas con las cuales se construyeron los especímenes de mampostería.

Se hizo una revisión de la materia prima utilizada por los diferentes productores de la ciudad, a partir de la cual se seleccionaron 2 fábricas (Hormiblock y Concretec) para su estudio. Se adquirieron piezas en número suficiente para los ensayos tanto de ellas como del conjunto pieza-mortero. A las piezas se les determinó las dimensiones (NB 1220036), la absorción total (NB 1220036) y la resistencia a compresión que según especificaciones de la norma (NB 1220036) ser mayor a 6 MPa para ser considerado estructural. Cada propiedad de las piezas se comprobó utilizando una muestra de acuerdo a lo recomendado por la norma por lo que se usó 8 piezas por productor para la prueba de resistencia a la compresión y por ende el análisis dimensional, y para la determinación de la absorción del bloque de hormigón se usó 3 bloques por cada fábrica.

En la mampostería se le examinó la resistencia a compresión y su resistencia a compresión diagonal (corte). Para la obtención de la resistencia a compresión se construyeron 7 muretes por productor. Cada murete se construyó con 3 piezas enteras y 3 medias piezas usando como elemento aglutinante el mortero, con espesor de 1cm aproximadamente. Para la determinación de la resistencia a compresión diagonal

(corte) también se elaboró 7 muretes por productor y con la misma cantidad de bloques de hormigón.

Para el mortero utilizado en la elaboración de muretes se usó un mortero tipo S que por su resistencia a la compresión son usadas en mampostería según las especificaciones de la norma de ASTM C-270 y el método de ensayo para la determinación de morteros de cemento hidráulico fue guiado por la ASTM C-109. Se tomaron muestras de nueve cubos y se ensayaron tres a los 7 días, tres a los 14 días y tres a los 28 días, para observar la evolución de la resistencia en el mortero.

Los procedimientos desarrollados para cada ensayo en laboratorio fueron los establecidos por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA), las Pruebas Estándar Americanas Para Ensayos y Materiales (ASTM) y el Reglamento CIRSOC 103 Parte III Construcciones de Mampostería.

### **3.2 Recolección y preparación de los materiales**

Los muros de mampostería de piezas artificiales están formados básicamente por dos elementos, por un lado piezas prismáticas que forman los bloques, y por otro el mortero que se utiliza para unir dichas piezas prismáticas.

Todos los materiales manipulados para la realización de los muretes son obtenidos en nuestra región.

#### **✓ BLOQUES HUECOS DE CONCRETO:**

Los bloques usados para el estudio fueron conseguidos de dos fábricas disponibles en la región, de manera que se pueda efectuar una comparación del material que encontramos en nuestro medio, como son las fábricas de:

- CONCRETEC
- HORMIBLOCK

Los cuales ofrecen los siguientes productos:

Tabla 3.1 Bloques de hormigón disponibles en la fábrica CONCRETEC

CONCRETEC					
Producto	Dimensiones (cm)			Rendimiento	Peso Promedio (Kg)
	A	B	C		
Bloque 10x20x40	9,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	9,6
Bloque 12x20x40	12,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	10,4
Bloque 15x20x40	14,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	14,3
Bloque 20x20x40	19,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	16,0
Medio bloque 10x20x20	9,0	19,00	19,00	25 pza/m <sup>2</sup>	4,8
Medio bloque 12x20x20	12,0	19,00	19,00	25 pza/m <sup>2</sup>	5,2
Medio bloque 15x20x20	14,0	19,00	19,00	25 pza/m <sup>2</sup>	7,1
Medio bloque 20x20x20	19,0	19,00	19,00	25 pza/m <sup>2</sup>	8,0
Bloque U 12X20X40	11,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	9,9
Bloque U 15X20X40	14,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	13,6
Bloque U 20X20X40	19,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	13,0

Para  
cerramiento

Portante

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2 Bloques de hormigón disponibles en la fábrica HORMIBLOCK

HORMIBLOCK					
Producto	Dimensiones (cm)			Rendimiento	Peso Promedio (Kg)
	A	B	C		
Bloque 20x20x40	19,0	39,00	19,00	12 pza/m <sup>2</sup>	14,0
Medio bloque 20x20x20	19,0	19,00	19,00	25 pza/m <sup>2</sup>	7,0

Fuente: Elaboración Propia

Los bloques huecos de hormigón usados para la investigación de ambas fábricas en estudio son los bloques de 20x20x40 teniendo en cuenta que este tiene una función estructural.

La NB 1220035 Bloques de Hormigón para Mampostería – Requisitos, especifica que los bloques deben estar íntegros, libres de rajaduras, cráteres, desportilladuras y otros defectos que interfieran con el adecuado colocado del bloque en la mampostería o perjudiquen en la resistencia o estabilidad de la edificación.

Así también se deberá caracterizar los bloques y verificar que estos se encuentren dentro de los rangos permitidos por la norma para su uso estructural.

### ✓ ARENA

La arena se la extrajo de la comunidad de Santa Ana y fue ensayada para verificar que esta cumpla con la granulometría exigida por la NB 1220047 que a su vez tiene como referencia a la ASTM C 144, donde especifica que el agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien graduado.

Los límites que debe cumplir la granulometría se encuentran en la tabla 2.9 y los resultados del tamizado se encuentran en el anexo D.

Figura 3.17 Arena de la comunidad de Santa Ana



### ✓ CEMENTO

Para la elaboración de mortero de junta se usó cemento de la empresa Soboce, cuya producción en la región lo realiza la Planta de Cemento El Puente, situada a 100 km. de la ciudad de Tarija, cubre los mercados del sur del país, específicamente los departamentos de Tarija y Potosí.

Siendo una empresa de gran demanda departamental el cemento usado en la investigación es el Cemento El Puente IP 30, que es un Cemento Portland con Puzolana, Tipo IP, Categoría resistente Media, con resistencia a la compresión de 30MPa a 28 días en mortero normalizado de cemento. Se caracteriza por su menor calor de hidratación, menor figuración y retracción térmica,

mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, menor reacción álcali/agregado, mayor impermeabilidad, mayor durabilidad.

### 3.3 Caracterización de los materiales

#### 3.3.1 Ensayos en los bloques

##### 3.3.1.1 Análisis Dimensional

Siguiendo los requerimientos de la NB 1220035, las dimensiones especificadas de alto y largo no deben diferir en  $\pm 3$  mm y en el ancho no deben diferir  $\pm 2$  mm.

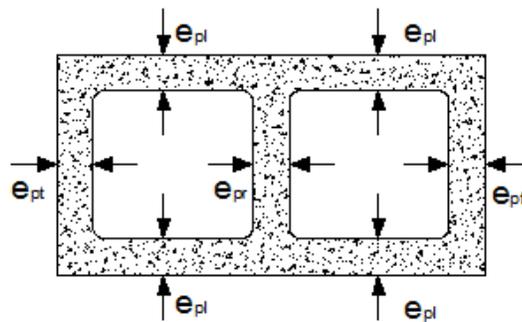
Figura 3.18 Obtención de las dimensiones del bloque de hormigón



Para la obtención del largo, ancho y alto la NB 1220036 especifica que se debe realizar por lo menos tres medidas en puntos distintos de cada cara para cada medición de la pieza, con precisión de 1 mm.

#### Espesor mínimo de las paredes:

Figura 3.19 Espesor de las paredes del bloque de hormigón



$e_{pl}$  = Espesor de pared longitudinal

$e_{pt}$  = Espesor de pared transversal

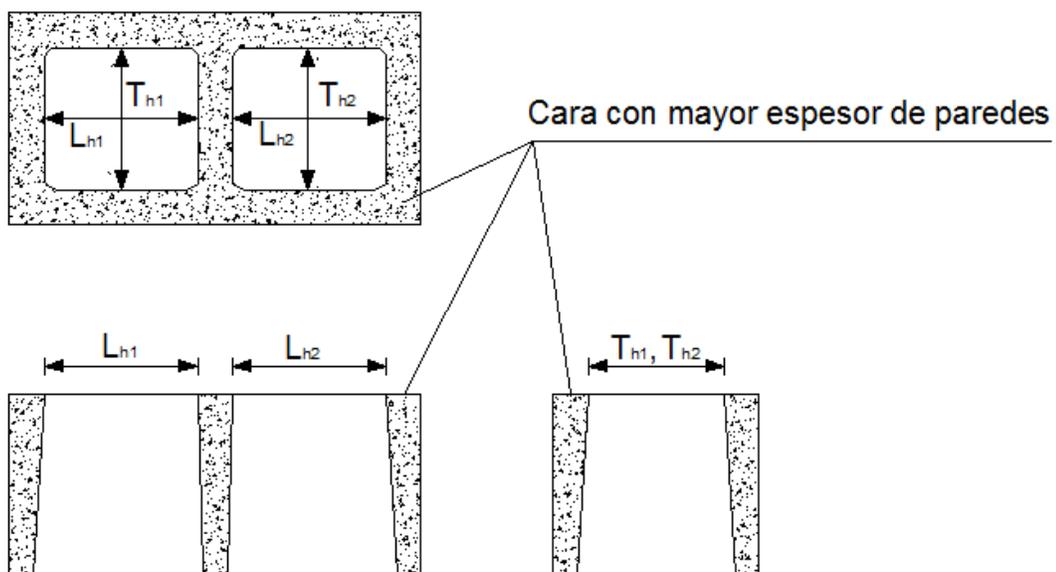
$e_{pr}$  = Espesor de pared de rigidizacion

Se realizó dos medidas en cada pared longitudinal del bloque y una medida en cada pared transversal. Las medidas se deben obtener de la cara que presenta el menor espesor de las paredes, con precisión de 1 mm. El espesor mínimo longitudinal corresponde al promedio de las mediciones efectuadas en los espesores de las paredes longitudinales. Se procedió de la misma manera para determinar el espesor mínimo transversal.

### Dimensiones de los huecos:

Se realizaron dos mediciones perpendiculares entre sí, en el centro de cada hueco del bloque, siendo una en dirección longitudinal del bloque y otra en la dirección transversal, tomada en la cara que presenta el mayor espesor de sus paredes (cara superior del bloque), con precisión de 1 mm.

Figura 3.20 Dimensiones de los huecos

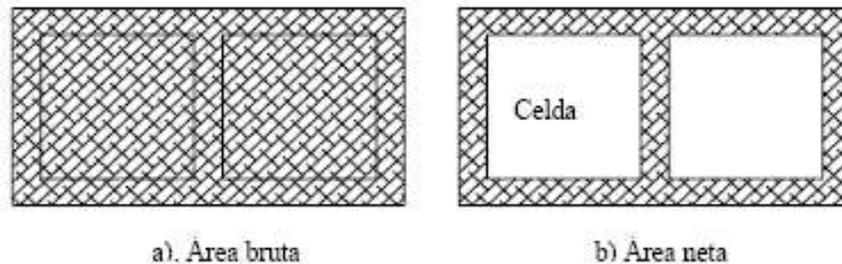


$L_{h1}$ ,  $L_{h2}$ : Dimensión longitudinal del hueco

$T_{h1}$ ,  $T_{h2}$ : Dimensión transversal del hueco

Obtenidos estos valores podemos sacar lo que es el área neta para la obtención de la resistencia a compresión del bloque.

Figura 3.21 Obtención de área bruta y área neta



### 3.3.1.2 Absorción

Este ensayo permite la determinación del porcentaje de absorción de bloques. El valor de absorción brinda una idea de la cantidad de agua que absorbe la unidad.

Se saturan los especímenes de ensayo durante 24 h, se obtiene el peso aparente en agua a temperatura entre 15 y 25 °C (peso sumergido). Después se debe drenar el espécimen y secar la superficie con un paño, de manera que se tome el peso saturado.

Se seca el espécimen en el horno durante 24 h a una temperatura de entre 110° y 115°C y se obtiene el peso seco.

Figura 3.22 Bloque sumergido en piscina



Para obtener el porcentaje de absorción de los bloques de hormigón se usó 3 unidades de cada fábrica.

El porcentaje de absorción que se obtuvo cumple con lo establecido y recomendado por la norma NB 1220035.

### **3.3.1.3 Resistencia mecánica a compresión del bloque de hormigón**

Uno de los parámetros más importantes de una pieza desde el punto de vista estructural es su resistencia a compresión, determinada mediante el ensayo directo a compresión de la pieza.

Se realizó un muestreo de la producción de piezas para mampostería destinada a la investigación, a fin de estudiar en particular la resistencia de las piezas. Se usó 8 piezas por fábrica como lo indica la norma.

Para la ejecución del ensayo es necesaria una prensa de laboratorio en la que la carga de rotura del bloque sea como máximo el 75% de la carga máxima nominal de la prensa.

**Figura 3.23 Prensa utilizada para rotura de bloques de hormigón**



Se deben refrentar las piezas a fin de garantizar la distribución uniforme de la carga de compresión. En el refrentado se debe aplicar pastas o morteros capaces de resistir las tensiones de compresión del ensayo.

**Figura 3.24 Pieza con refrentado de cemento-arena-yeso**



Se refrentó las piezas con compuesto de cemento-arena-yeso cuya mezcla tenía proporciones iguales (1:1:1), y el espesor de este no debe exceder los 5 mm.

Cabe recalcar que el refrentado debe estar completamente seco al momento del ensayo a compresión.

Las piezas deben ser ensayadas de modo que la carga de compresión aplicada este en la dirección del esfuerzo que debe soportar el bloque de la mampostería es decir en sentido perpendicular a la cara de asiento.

Como las dimensiones de los platos de apoyo de acero de la prensa no eran suficientes para cubrir adecuadamente la pieza refrentada se recurrió al uso de placas auxiliares de acero para la aplicación de la carga de compresión (Figura 3.9), el espesor total de placas por cada apoyo fue de 50 mm, lo mínimo recomendado por la NB 1220036.

La muestra debe ser colocada en la prensa de modo que el centro de gravedad de la superficie de contacto coincida con el eje de aplicación de carga de los platos de apoyo.

Figura 3.25 Pieza preparada para ensayar a compresión axial



Todos los valores obtenidos en laboratorio cumplen con lo exigido en la NB 1220035 puesto que los bloques de hormigón tienen resistencias mayores a 6 MPa por lo que clasifican como un tipo I, para ambas fábricas.

### 3.3.2 Ensayo del mortero

### 3.3.2.1 Granulometría de la arena

El procedimiento para el desarrollo de esta prueba está acorde a las especificaciones de la norma ASTM C-144. Utilizando un juego de tamices se hizo pasar una muestra de arena para identificar la graduación de la misma y verificar si era adecuada para ser empleada en la elaboración de morteros, ya que su función es determinante en cuanto a la trabajabilidad y a la disminución de los efectos por contracción.

Los áridos para su uso en morteros de junta, deberán cumplir una granulometría exigida por la NB 1220047 mostrada en la tabla 2.8 dependiendo si la arena que se va a usar es natural o manufacturada.

El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma.

Figura 3.26 Tamices para granulometría de arena



### 3.3.2.2 Resistencia mecánica a compresión del mortero

La dosificación por volumen utilizada para el mortero fue de 1:3 (cemento, arena) con la cantidad de agua suficiente para que el mortero sea trabajable. Esta dosificación es la recomendada para mortero en elementos estructurales.

Para esta prueba se siguieron parcialmente los lineamientos especificados en la norma ASTM C-109 (Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico), es decir se tomó como referencia para manejar los tipos de aparatos y los procedimientos a seguir para la elaboración de especímenes cúbicos de 2 plg por lado, los que servirán para realizar el ensayo a compresión a los 28 días.

Figura 3.27 Cubos para ensayo



Se cubre ligeramente la cara interior de los moldes con aceite mineral o con una grasa liviana. Las caras de las superficies de contacto de las mitades de cada molde también se cubren con una capa fina de aceite mineral. Después de ensamblar los moldes, se retira el exceso de aceite o grasa de las caras interiores y de las superficies superior y del fondo del molde. Se colocan los moldes sobre una placa de base plana no absorbente que haya sido cubierta con una capa fina de aceite mineral. Sobre las líneas de contacto exteriores de los moldes y las placas de base, se aplica una cera similar a la cera micro cristalina, de tal manera que se produzcan unas juntas impermeables al agua entre los moldes y las placas de base.

Los cubos son curados según la NB 1220039 de  $48 \text{ h} \pm 24 \text{ h}$  en los moldes y después deben desmoldarse e inmersos en agua a una temperatura de  $23 \text{ °C} \pm 5\text{°C}$  hasta el momento de ensayo.

Las roturas son realizadas a la edad de 28 días y la tolerancia de tiempo en relación al momento de la rotura que está en función a la edad de la probeta se debe cumplir como lo indica la tabla 2.5.

**Figura 3.28** Ensayo a compresión de cubos de mortero



Para cada período de ensayo especificado se debe preparar un mínimo de tres especímenes para la rotura a compresión. Por lo que se decidió preparar 9 cubos de mortero, tres se rompieron a los 7 días, tres a los 14 días y los últimos tres a los 28 días.

La resistencia obtenida a los 28 días fue de 12,70 MPa por lo que se clasifica como un mortero tipo S, según la ASTM C-270, la cual es recomendada para mampostería.

### **3.4 Elaboración de las muestras**

Los muretes de bloques huecos de hormigón fueron elaborados y sometidos a ensayos de compresión y compresión diagonal, en el Laboratorio de Maderas de la

Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija.

El espécimen consiste en un murete de 600 x 600 mm<sup>2</sup>, constituido por 3 hiladas de un bloque de hormigón y un medio bloque; el espesor del muro es de 190 mm. Las juntas horizontales y verticales tienen un espesor de 10 mm. Las dimensiones nominales del bloque hueco de hormigón son de 20x20x40 cm.

La norma **ASTM E-447** “*Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de mampostería construida en laboratorio), cubre dos pruebas de compresión de prismas de mampostería:

- **Método A** – Para determinar datos comparativos en la resistencia a compresión de prismas de mampostería fabricados en laboratorio con cada unidad de mampostería diferente o tipo de mortero, o ambos.
- **Método B** – Para determinar la resistencia a compresión de mampostería construida en el sitio de trabajo con los mismos materiales y mano de obra a utilizarse, en una estructura en particular.

Los muretes fueron construidos siguiendo el método B, reflejando, tanto como sea posible, las condiciones y calidad de los materiales y mano de obra que se tendrán efectivamente en la construcción.

Los muretes construidos deben protegerse y transportarse de manera tal que se eviten los golpes y caídas.

En el proceso de construcción, primero se seleccionaron los bloques de hormigón eliminando los que tenían rajaduras y esquinas defectuosas, luego se limpiaron con una escobilla. Para el asentado se colocó una capa de mortero que cubrió toda la superficie de asiento y luego se asentó el bloque. Con una plomada se controló la verticalidad y con un escantillón se controló la altura de cada hilada (Figura 3.13).

Figura 3.29 Elaboración de los muretes



Los muretes de prueba tendrán una longitud, de al menos una vez y media la longitud de una pieza y el número de hiladas necesarias, para que la altura, sea aproximadamente igual a la longitud como lo indica la teoría. Condición que se cumple en la probeta de ensayo ya que su longitud, es de una pieza y media. También se cumple la semejanza entre altura y longitud.

Los bloques se colocan con las paredes más gruesas hacia arriba, para contar con mayor superficie de contacto del mortero.

Para la fabricación de los especímenes se ha utilizado un mortero de cemento y arena remolida, sin cal ni aditivos. El mortero se elaborará con la cantidad de agua mínima necesaria para obtener una pasta manejable.

El mortero debe ser representativo del que se empleará en la construcción. Se debe usar un espesor de junta y un método de alineamiento y posicionamiento de las juntas, correspondiente al que se tiene en la construcción. El espesor adecuado del mortero usado para erigir el murete es de 1 cm pudiendo en algunos casos tener un poco más de lo especificado.

Todos los muretes fueron fabricados sobre tableros de conglomerado de 1 cm de espesor (mínimo recomendado por la norma NB 1220045) previamente nivelados y con las dimensiones necesarias para contener toda la sección de contacto del murete.

El número de muretes ensayados son de 7 por cada fábrica y se romperán pasados los 28 días.

### **Curado de los especímenes**

Los prismas deben permanecer intactos el tiempo estipulado en las condiciones de la obra temperatura y humedad que cuando se conformaron. El curado debe ser del mismo tipo y por el mismo periodo del que se realiza en la obra.

Figura 3.30 Curado de muretes



#### **3.4.1. Resistencia a compresión en muretes**

La resistencia de diseño a compresión de la mampostería se estimó experimentalmente con el ensayo de 7 muretes de bloques de concreto, y se ensayaron a la edad de 28 días, la cual se considera como edad de referencia.

Los muretes fueron refrentados en sus extremos con una pasta de yeso. La capas de refrentado deben colocarse por lo menos 24 horas antes de efectuar el ensayo.

Se transportaron los muretes desde el lugar de construcción hacia el laboratorio evitando sacudidas, saltos y volteos.

Se limpiaron las caras superior e inferior de la máquina de ensayo y del espécimen. Se colocó el espécimen en la máquina de ensayo apoyándolo en la plancha inferior y se centró los ejes del espécimen con los ejes de la plancha de apoyo.

Figura 3.31 Ensayo a compresión simple



#### **3.4.2. Resistencia a compresión diagonal (corte) en muretes**

El ensayo a la compresión diagonal de muretes de mampostería se efectuara aplicando una carga de compresión según una diagonal del murete, hasta llegar a la rotura.

Durante el ensayo, la carga vertical genera esfuerzos de tensión crecientes que se orientan perpendicularmente a la dirección de carga. Este campo de esfuerzos de tensión conduce a la falla del murete a lo largo de una grieta aproximadamente vertical entre las dos esquinas cargadas.

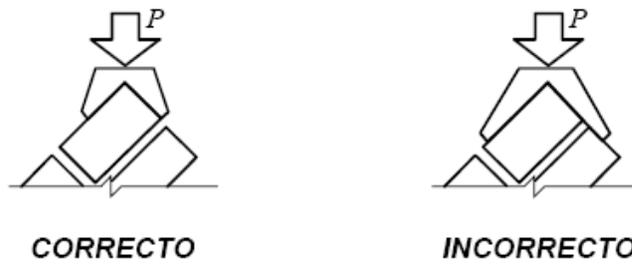
Figura 3.16 Ensayo a compresión diagonal o corte



Las especificaciones dimensionales de los muros que fueron empleados en el ensayo de compresión diagonal se establecieron a partir de la condición de que el tamaño del espécimen fuera representativo de un ensamble de mampostería de escala natural y que pudiera ser adaptado a las características de la máquina universal de pruebas disponible para el ensayo en el laboratorio. Se tuvieron en cuenta también recomendaciones de investigaciones extranjeras que indican que los muros deben presentar una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. Bajo las consideraciones anteriormente expuestas, fueron establecidas como dimensiones de los muros para el ensayo de compresión diagonal, una longitud de 60 cm, 60 cm de alto y espesor igual al de las piezas.

Para distribuir la carga de compresión en las esquinas del murete, se debe emplear un par de cabezales suficientemente rígidos para aplicar la carga de modo uniforme. En ningún caso los cabezales deben cubrir más de la primera hilada del murete (fig. 3.17).

Figura 3.17 Colocación del cabezal en la esquina del murete



Si el cociente entre el lado menor y el mayor es menor o igual que 0,9, se debe desechar la probeta.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Datos obtenidos

De los ensayos realizados en el laboratorio se obtuvo los siguientes resultados de los diferentes ensayos hechos en los componentes de la mampostería como también la mampostería en sí.

#### 4.1.1 Análisis dimensional del bloque de hormigón

**Procedencia:** HORMIBLOCK

Promedio del largo del bloque de hormigón:	390,5	mm	
Tolerancia en el largo del bloque $\pm 3$ mm	0,5	mm	CUMPLE!!!!!!
Promedio del alto del bloque de hormigón:	187,2	mm	
Tolerancia en el alto del bloque $\pm 3$ mm	2,8	mm	CUMPLE!!!!!!
Promedio del ancho del bloque de hormigón:	190,7	mm	
Tolerancia en el ancho del bloque $\pm 2$ mm	0,7	mm	CUMPLE!!!!!!

Fuente: Elaboración Propia

	$e_l$	$e_t$	$e_{tr}$
Promedio de espesor mínimo de pared (mm)	28,8	28,5	28,6

Fuente: Elaboración Propia

El espesor mínimo de paredes longitudinales y transversal debe ser de por lo menos **25 mm** según la NB 1220035 CUMPLE!!!

#### Dimensiones de los huecos:

Según la NB 1220035, los bloques huecos para la categoría de aplicación estructural, la menor dimensión del hueco  $T_h$  debe obedecer el siguiente requisito:

$$T_h \geq 110mm$$

$T_h = 130,50 \text{ mm} \longrightarrow T_h = 13,05 \text{ cm}$  CUMPLE!!!!

$L_h = 143,00 \text{ mm} \longrightarrow L_h = 14,30 \text{ cm}$

### Porcentaje de vacíos:

%vacío = 50,12 %

### Procedencia: CONCRETEC

Promedio del largo del bloque de hormigón:	398,9	mm	
Tolerancia en el largo del bloque $\pm 3 \text{ mm}$	8,9	mm	NO CUMPLE!!!!
Promedio del alto del bloque de hormigón:	186,0	mm	
Tolerancia en el alto del bloque $\pm 3 \text{ mm}$	4,0	mm	NO CUMPLE!!!!
Promedio del ancho del bloque de hormigón:	192,1	mm	
Tolerancia en el ancho del bloque $\pm 2 \text{ mm}$	2,1	mm	CUMPLE!!!!

Fuente: Elaboración Propia

Cabe recalcar que la fábrica, especifica en su catálogo, que las medidas pueden variar en un  $\pm 10 \%$  y tomando en cuenta esto se tiene que:

Largo del bloque: 2,28 % CUMPLE!!!!

Alto del bloque: 2,10 % CUMPLE!!!!

	$e_l$	$e_t$	$e_{tr}$
Promedio de espesor mínimo de pared (mm)	28,9	28,9	33,9

Fuente: Elaboración Propia

El espesor mínimo de paredes longitudinales y transversal debe ser de por lo menos **25 mm** según la NB 1220035 CUMPLE!!!

### Dimensiones de los huecos:

Según la NB 1220035, los bloques huecos para la categoría de aplicación estructural, la menor dimensión del hueco  $T_h$  debe obedecer el siguiente requisito:

$$T_h \geq 110mm$$

$$T_h = 131,50 \text{ mm} \longrightarrow T_h = 13,17 \text{ cm} \quad \text{CUMPLE!!!!!!}$$

$$L_h = 146,00 \text{ mm} \longrightarrow L_h = 14,55 \text{ cm}$$

#### Porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ vacíos} = 50,00 \%$$

Para ver mayor detalle sobre el análisis dimensional de los bloques de concreto ver anexo A.

#### 4.1.2 Porcentaje de absorción del bloque de hormigón

##### Procedencia: HORMIBLOCK

$$\% a = 6,468 \% \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

El porcentaje de absorción según la NB 1220035 debe ser  $\leq 10\%$

##### Procedencia: CONCRETEC

$$\% a = 9,260 \% \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

El porcentaje de absorción según la NB 1220035 debe ser  $\leq 10\%$

Para mayor detalle sobre la absorción de los bloques de hormigón ver anexo B.

#### 4.1.3 Compresión de morteros de cemento hidráulico en especímenes cúbicos de 2" ASTM C-109.

Se obtuvo 9 especímenes los cuales se ensayaron a diferentes edades para observar la evolución de la resistencia de los morteros.

Número de muestra	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Alto (cm)	Carga de falla (KN)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
1	7	5	5	5	25,00	101,94	10,00
2	7	5	5	5	26,50	108,05	10,60
3	7	5	5	5	23,30	95,01	9,32
<b>Promedio</b>						<b>101,66</b>	<b>9,97</b>

Número de muestra	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Alto (cm)	Carga de falla (KN)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
4	14	5	5	5	30,20	123,14	12,08
5	14	5	5	5	30,10	122,73	12,04
6	14	5	5	5	30,10	122,73	12,04
<b>Promedio</b>						<b>110,75</b>	<b>12,05</b>

Número de muestra	Edad (días)	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Alto (cm)	Carga de falla (KN)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo (MPa)
7	28	5	5	5	31,50	128,44	12,60
8	28	5	5	5	31,70	129,26	12,68
9	28	5	5	5	32,10	130,89	12,84
<b>Promedio</b>						<b>115,87</b>	<b>12,70</b>

**Fuente: Elaboración Propia**

Teniendo como resultado una resistencia final de 12,70 MPa clasificando como un mortero tipo S según la ASTM C-270.

Para mayor detalle sobre la resistencia a compresión del mortero de junta ver anexo E.

#### 4.1.4 Resistencia a la compresión de los bloques de concreto

La resistencia a la compresión se la obtuvo ensayando 8 bloques de concreto de cada empresa en estudio. Para la obtención de una confiable resistencia característica se analizó los datos registrados del laboratorio decidiendo anular los valores extremos de estos resultados. Teniendo como resultado una resistencia característica a compresión indicada en la siguiente tabla:

Procedencia	Resistencia Característica a la Compresión $f_{bk}$	Clasificación de aplicación según la norma NB 1220035
HORMIBLOCK	8,339	Tipo I
CONCRETEC	7,178	Tipo I

Fuente: Elaboración Propia

Para mayor detalle sobre la resistencia a compresión de los bloques de hormigón ver anexo C.

#### 4.1.5 Resistencia a la compresión de muretes

**Procedencia:** HORMIBLOCK

Del ensayo de siete muestras se obtuvo los siguientes resultados:

DENOMINACIÓN	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Área de contacto (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura P (KN)
1	60	60	19	1140	568,7	358,3
2	60	60	19	1140	568,7	280,80
3	60	60	19	1140	568,7	363,50
4	60	60	19	1140	568,7	374,90
5	60	60	19	1140	568,7	353,90

DENOMINACIÓN	Resistencia a Compresión $\sigma'_m$ (KN/cm <sup>2</sup> )			Resistencia a Compresión $\sigma'_m$ (MPa)		
1	0,63			6,30		
2	0,49			4,94		
3	0,64			6,39		
4	0,66			6,59		
5	0,62			6,22		
6	0,49			4,92		
7	0,64			6,42		
<b>Promedio</b>	<b>0,60</b>			<b>5,97</b>		

6	60	60	19	1140	568,7	280,00
7	60	60	19	1140	568,7	365,00

**Fuente: Elaboración Propia**

Desviación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{\sigma}'_m)^2 + (x_2 - \bar{\sigma}'_m)^2 + \dots + (x_n - \bar{\sigma}'_m)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = 0,0719$$

Coefficiente de variación:

$$\delta = \frac{\sigma}{\sigma'_m} > 0,12$$

$$0,1204 > 0,12 \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

**Resistencia característica a compresión:**

$$\sigma'_{mk} = \overline{\sigma'_m} (1 - 1,8 \delta)$$

$$\sigma'_{mk} = 0,468 \quad \text{KN/ cm}^2$$

$$\sigma'_{mk} = 4,676 \quad \text{MPa}$$

**Procedencia: CONCRETEC**

Del ensayo de siete muestras se obtuvo los siguientes resultados:

DENOMINACIÓN	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Área de contacto (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura P (KN)
1	60	60	19	1140	570	318,50
2	60	60	19	1140	570	250,00
3	60	60	19	1140	570	362,00
4	60	60	19	1140	570	310,60
5	60	60	19	1140	570	286,00
6	60	60	19	1140	570	275,60

7	60	60	19	1140	570	287,00
---	----	----	----	------	-----	--------

DENOMINACIÓN	Resistencia a Compresión $\sigma'_m$ (KN/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión $\sigma'_m$ (MPa)
1	0,559	5,588
2	0,439	4,386
3	0,635	6,351
4	0,545	5,449
5	0,502	5,018
6	0,484	4,835
7	0,504	5,035
<b>Promedio</b>	<b>0,524</b>	<b>5,238</b>

Fuente: Elaboración Propia

Desviación: 
$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{\sigma}'_m)^2 + (x_2 - \bar{\sigma}'_m)^2 + \dots + (x_n - \bar{\sigma}'_m)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = 0,0630$$

Coefficiente de variación:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{\sigma}'_m} > 0,12$$

$$0,1203 > 0,12 \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

**Resistencia característica a compresión:**

$$\sigma'_{mk} = \bar{\sigma}'_m (1 - 1,8 \delta)$$

$$\sigma'_{mk} = 0,410 \quad \text{KN/ cm}^2$$

$$\sigma'_{mk} = 4,103 \quad \text{MPa}$$

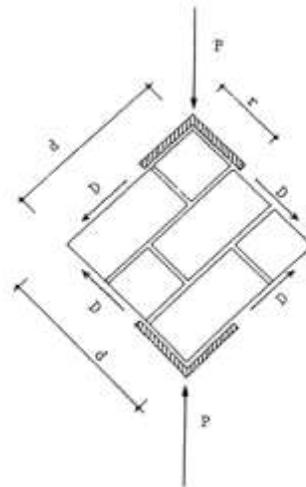
Para mayor detalle sobre la resistencia a compresión de los muretes de bloques de hormigón ver anexo F

#### 4.1.6 Resistencia al corte de muretes

**Procedencia:** HORMIBLOCK

La resistencia al corte de cada murete ensayado se determinara dividiendo la proyección de la carga de rotura sobre la dirección paralela a las hiladas, por el área bruta de la sección transversal del murete según la misma dirección.

$$\tau_m = 0,707 * \frac{P}{d * t}$$



**Dónde:**

**P=** Carga de rotura (KN)

**t=** Espesor del murete (cm)

**d=** Alto o ancho del murete (cm)

DESIGNACIÓN	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área de contacto (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura P (KN)
HOR-1	60,0	60,0	19	1140	114,70
HOR-2	60,0	60,0	19	1140	85,50
HOR-3	60,0	60,0	19	1140	101,50
HOR-4	60,0	60,0	19	1140	70,60
HOR-5	60,0	60,0	19	1140	89,40
HOR-6	60,0	60,0	19	1140	97,00
HOR-7	60,0	60,0	19	1140	78,00

DESIGNACIÓN	$\tau_m$ (KN/cm <sup>2</sup> )	$\tau_m$ (MPa)
HOR-1	0,071	0,711
HOR-2	0,053	0,530
HOR-3	0,063	0,630
HOR-4	0,044	0,438
HOR-5	0,055	0,555
HOR-6	0,060	0,602
HOR-7	0,048	0,484
<b>Promedio</b>	<b>0,056</b>	<b>0,564</b>

Fuente : Elaboración Propia

Desviación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{\tau}_m)^2 + (x_2 - \bar{\tau}_m)^2 + \dots + (x_n - \bar{\tau}_m)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = 0,00922$$

Coefficiente de variación:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{\tau}_m} > 0,12$$

$$0,1634 > 0,12 \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

**Resistencia característica al corte:**

$$\tau_{mk} = \overline{\tau}_m (1 - 1.8 \delta)$$

$$\tau_{mk} = 0,0398 \quad \text{KN/cm}^2$$

$$\tau_{mk} = 0,3982 \quad \text{Mpa}$$

**Procedencia: CONCRETEC**

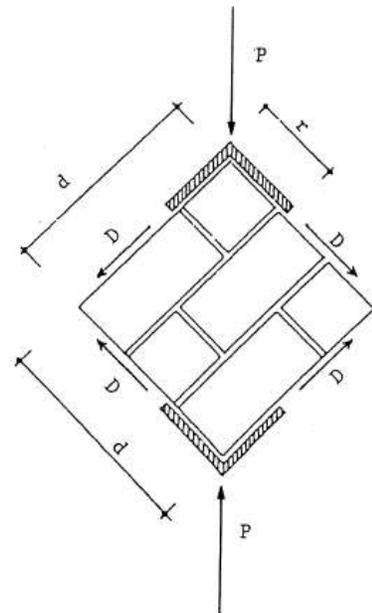
La resistencia al corte de cada murete ensayado se determinará dividiendo la proyección de la carga de rotura sobre la dirección paralela a las hiladas, por el área bruta de la sección transversal del murete según la misma dirección.

$$\tau_m = 0,707 * \frac{P}{d * t}$$

**Dónde:**

**P=** Carga de rotura (KN)

**t=** Espesor del murete (cm)



**d=** Alto o ancho del murete (cm)

DESIGNACIÓN	Alto (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área de contacto (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura P (KN)
CON-1	60	60	19	1140	69,80
CON-2	60	60	19	1140	81,50
CON-3	60	60	19	1140	58,90
CON-4	60	60	19	1140	69,50
CON-5	60	60	19	1140	89,60
CON-6	60	60	19	1140	77,00
CON-7	60	60	19	1140	79,50

DESIGNACIÓN	$\tau_m$ (KN/cm <sup>2</sup> )	$\tau_m$ (MPa)
CON-1	0,043	0,433
CON-2	0,051	0,506
CON-3	0,037	0,365
CON-4	0,043	0,431
CON-5	0,056	0,556
CON-6	0,048	0,478
CON-7	0,049	0,493
<b>Promedio</b>	<b>0,047</b>	<b>0,466</b>

**Fuente: Elaboración Propia**

Desviación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{\tau}_m)^2 + (x_2 - \bar{\tau}_m)^2 + \dots + (x_n - \bar{\tau}_m)^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = 0,00618$$

Coefficiente de variación:

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{\tau}_m} > 0,12$$

$$0,1327 > 0,12 \quad \text{CUMPLE!!!!}$$

**Resistencia característica al corte:**

$$\tau_{mk} = \bar{\tau}_m (1 - 1,8 \delta)$$

$$\tau_{mk} = 0,0355 \quad \text{KN/cm}^2$$

$$\tau_{mk} = 0,3546 \quad \text{Mpa}$$

Para ver mayor de talle sobre la resistencia a compresión diagonal (corte) de los muretes de bloques de hormigón, ver anexo G

#### 4.2 Información Generada

Se realizó un muestreo de 2 blockeras de la ciudad de Tarija, con el objeto de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la mampostería de piezas de bloques de dimensiones nominales 40x20x20 cm y las propiedades mecánicas de la mampostería de bloques de concreto. En base a los resultados de los diferentes ensayos se observa que:

El análisis dimensional realizado a las unidades de la mampostería (bloques de concreto), cumplen con los requerimientos de calidad exigidos cumpliendo con la tolerancia en las dimensiones máximas permitidas por la NB 1220035, de largo ancho y alto para la empresa de Hormiblock, sin embargo la empresa Concrettec no cumple con el rango de variación de  $\pm 3$  mm, de alto y el largo descrito en la norma pero cabe recalcar que la empresa en su catálogo de productos indica que las dimensiones de los

productos pueden variar en un 10% y tomando en cuenta esto sus medidas de alto y largo están dentro de lo que la empresa indica.

Los espesores mínimos de las paredes longitudinales y transversales de los bloques de concreto deben ser de por lo menos 25 mm exigido por la NB 1220035 lo cual se cumple para ambas empresas.

Así también se exige que los bloques huecos para la categoría de aplicación I y II, la menor dimensión del hueco  $T_h$  debe obedecer el siguiente requisito:

$$T_h \geq 110mm$$

Lo cual ambas empresas cumplen con lo exigido.

El bloque para ser considerado como bloque hueco deberá tener un área neta de la cara de asiento equivalente o menor al 50 % del área bruta, lo cual es exigido para que cuyos huecos tengan las dimensiones suficientes para ser llenados con hormigón fluido (grout).

**HORMIBLOCK:**

% VACIOS=50,12 %

Área neta= 49,88%  $\leq$  50% CUMPLE!!!

**CONCRETEC:**

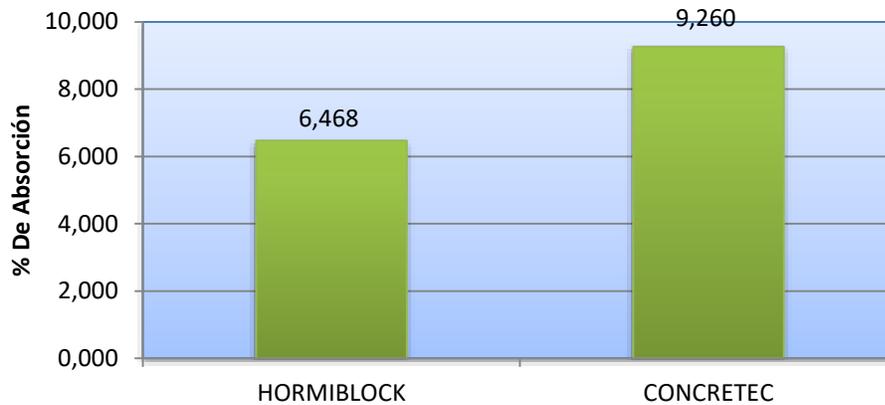
% VACIOS=50,00 %

Área neta= 50 %  $\leq$  50% CUMPLE!!!

Por el análisis dimensional realizado podemos ver que los bloques de concreto de ambas fábricas cumplen con los rangos permitidos por la norma en cuanto a sus dimensiones se refiere.

El siguiente paso fue obtener el grado de absorción de las piezas:

## Porcentaje de absorción de los bloques de concreto



Grafica 4.1. Comparación del % de absorción de dos empresas de bloques de concreto

En la gráfica 4.1. se puede observar que ambas empresas están bajo el rango exigido por la norma que es menor a 10%, más sin embargo hay que tener en cuenta que la empresa Concrettec está más próxima al límite que se marca como máximo permitido.

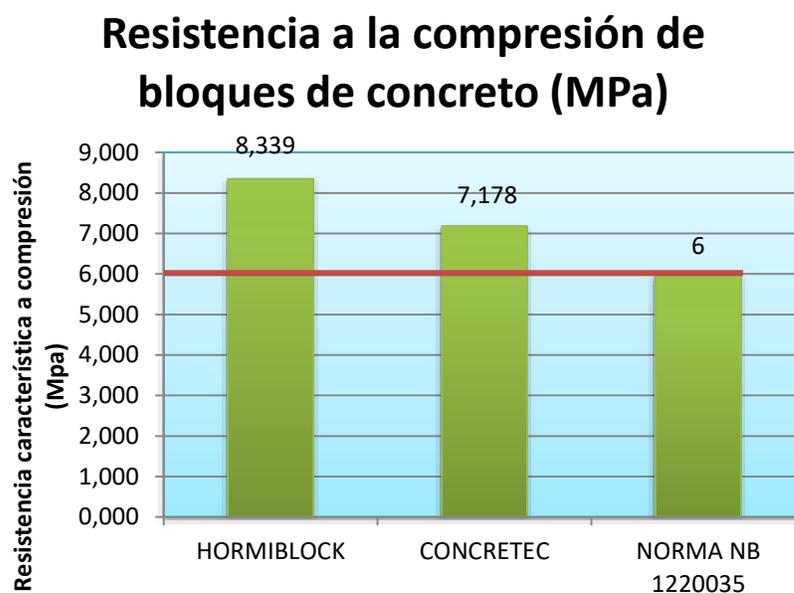
La absorción es una de las propiedades más importantes de las piezas que conforman la mampostería ya que en gran medida de ella depende la adherencia entre pieza y mortero y por lo tanto también influye de manera importante en la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, especialmente cuando se tienen piezas de alta resistencia.

Es importante tener la menor absorción posible en el bloque, pues mientras mayor sea, más agua succionará del mortero de pega, y se puede reducir la hidratación del cemento en la superficie que los une, perdiendo adherencia y originando fisuras. Por el contrario, bloques totalmente impermeables evitan el intercambio de humedad y la creación de una superficie de adherencia, resultado en uniones de baja resistencia, con fisuras permeables al agua.

Una absorción baja reduce la entrada de agua y de contaminantes en el bloque, mejorando su durabilidad. Como la absorción es inversamente proporcional a

resistencia a la compresión, por lo general es mayor para las unidades de menor resistencia.

El parámetro fundamental para poder clasificar al bloque como estructural es su resistencia a la compresión que se muestra en la siguiente gráfica:



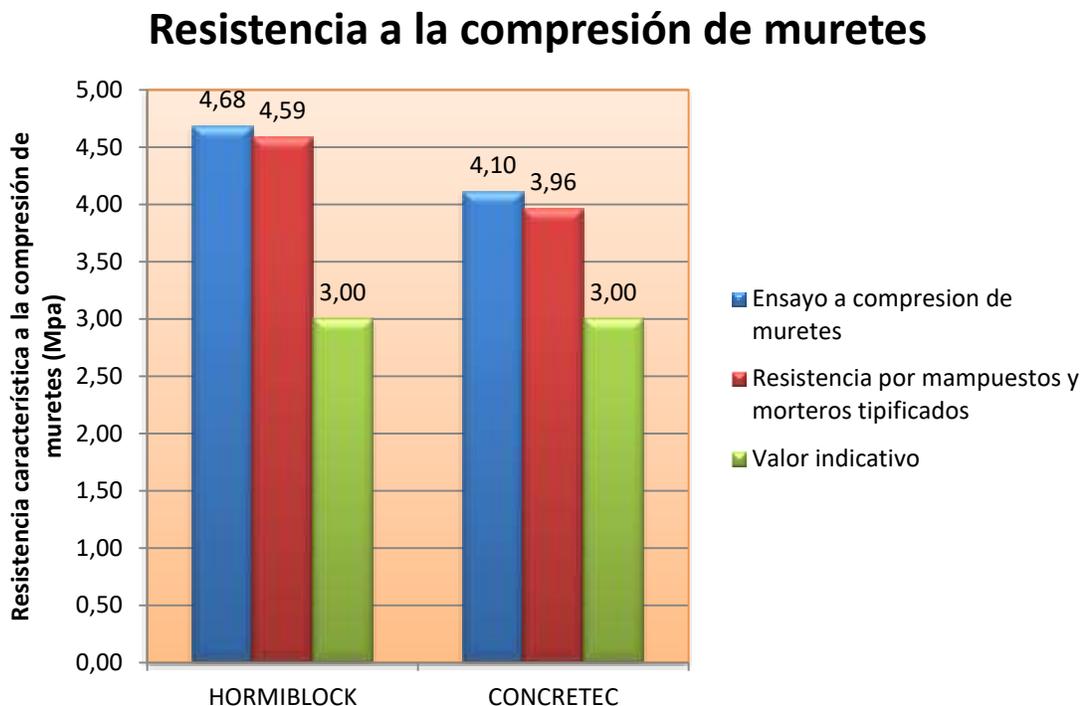
**Grafica 4.2. Comparación de resistencias a compresión de dos empresas de bloques de concreto con la NB 1220035**

La resistencia a compresión de los mampuestos se determinó por medio de una compresión uniforme del mismo en sentido perpendicular a la cara de asiento.

Ambas empresas de bloques tienen una resistencia característica por encima de la exigida por la NB 1220035, que es mayor a 6 MPa siendo lo necesario para considerar estructural a un bloque de concreto, clasificándolo a ambos como bloques clase I. Teniendo una mayor resistencia la empresa de Hormiblock, esto puede ser también causado a que el porcentaje de absorción de esta empresa es menor que la de Concretec.

La resistencia a la compresión de la mampostería simple de bloques de hormigón se la obtuvo de la forma más común y por lo tanto la más confiable, que es mediante las pruebas de resistencia en el laboratorio con muretes formados con las piezas de bloques de concreto, pegadas con mortero, pero también se determinó mediante otros métodos

indicativos con el fin simplemente de tener valores de comparación, mostrados en el grafico 4.3.

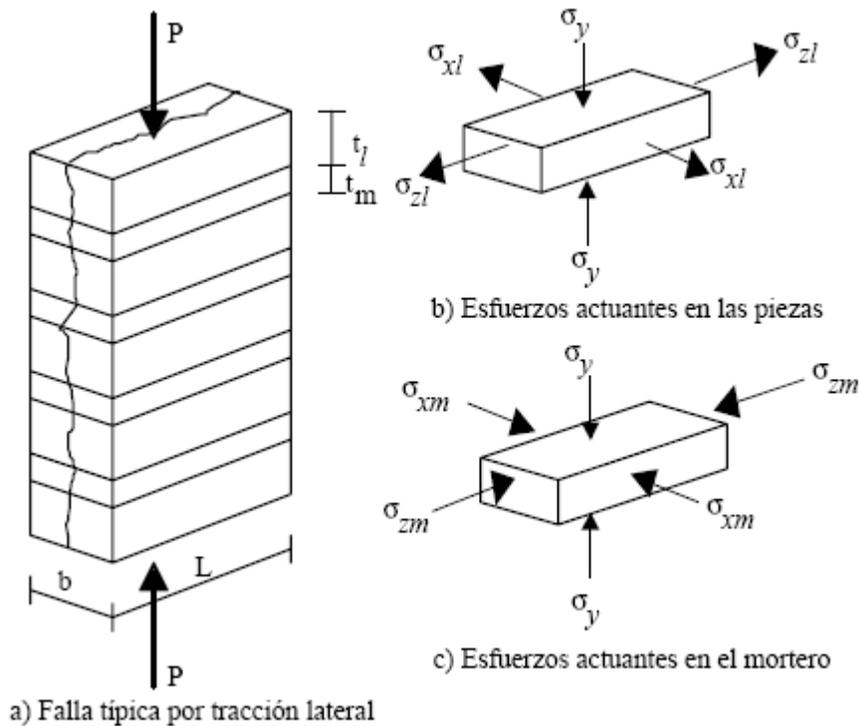


**Grafica 4.3. Comparación de resistencias características a compresión por diferentes métodos de obtención.**

La rotura de los muretes se da a valores menores que la rotura de mampuestos aislados. Esto es causado debido a que el fenómeno generado en ambos casos es diferente (figura 4.1.). Su comportamiento y los modos de falla ante cargas axiales, dependen de la interacción de piezas y mortero; las piezas y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes, por lo tanto, al ser sometidos al mismo esfuerzo, se produce una interacción entre ambos, que consiste en que el material menos deformable, en este caso los bloques de concreto, restringe las deformaciones transversales del material más deformable (el mortero), introduciéndole esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por el contrario, en el material menos deformable, se introducen esfuerzos transversales de tracción, que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple del material aislado.

En resumen podemos decir que mientras los mampuestos aislados fallan por compresión, los prismas o muretes fallan por tracción del mampuesto debido a la interacción mampuesto – mortero.

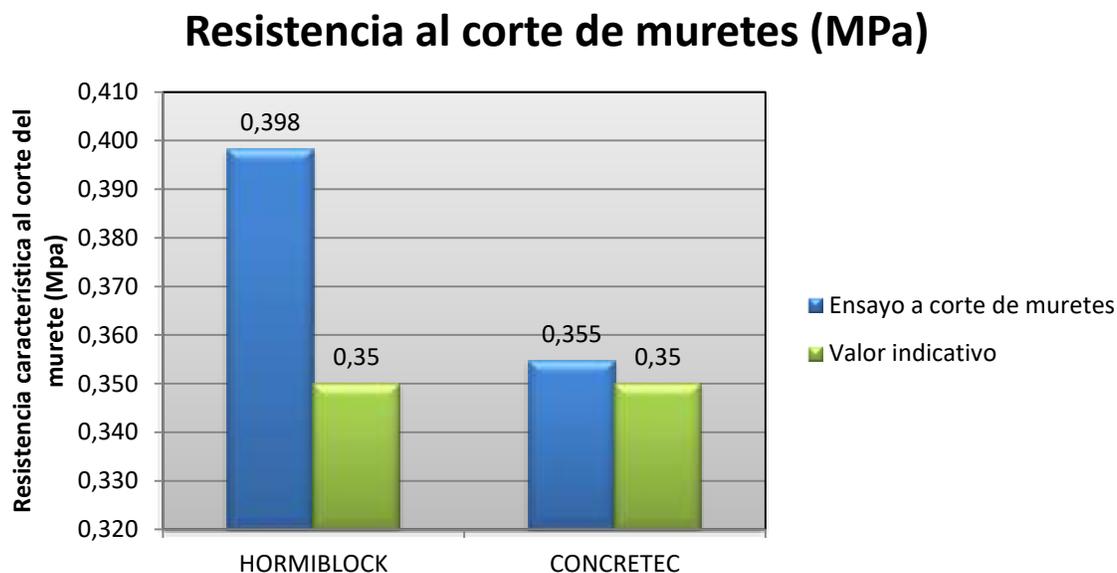
Tabla 4.3 Mecánica típica de falla de la mampostería a la compresión



En el ensayo a compresión de muretes de mampostería el modo de falla más común es el conocido como falla por tracción lateral, es decir, a través de grietas verticales en las piezas producidas por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas (figura 4.1.). Cuando este agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se producen la inestabilidad del elemento y su falla. Para piezas de baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de las piezas mismas, lo cual no ocurrió en los elementos ensayados en laboratorio. El aplastamiento del mortero generalmente no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste, cuando se aplasta, es retenido por fricción por las piezas, y el conjunto puede soportar cargas mayores, salvo que el mortero sea muy

pobre en comparación con las piezas (que no es el caso puesto que el mortero tiene una resistencia mayor al bloque de hormigón).

Para observar el comportamiento al corte de la mampostería de bloques de concreto se realizó el ensayo a compresión diagonal dando como resultado los valores expresados en la gráfica 4.4.



**Grafica 4.4. Comparación de resistencias características a compresión por diferentes métodos de obtención.**

En el caso de la mampostería simple el esfuerzo resistente a la tensión es mucho menor que el esfuerzo resistente a la compresión de la mampostería.

En el grafico 4.4. se puede observar que los resultados de ambas empresas de los ensayos de laboratorio a compresión diagonal son mayores a los valores indicativos en el Reglamento CIRSOC 103 Parte III Construcciones de Mampostería.

En la figura 2.14 se muestran los principales tipos de falla de la mampostería en un ensayo de compresión diagonal. El primer modo de falla mostrado en la figura corresponde a aquel en que el agrietamiento se produce en las juntas, y se produce cuando la resistencia de las piezas es mayor en relación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas, por lo que el agrietamiento ocurre en el elemento débil que

en este caso es la junta. En la figura 2.14. puede verse que un segundo modo de falla es cuando el agrietamiento diagonal atraviesa las piezas. Este tipo de falla normalmente se da cuando la resistencia a la tensión de las piezas es menor en relación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas. Finalmente, cuando el esfuerzo resistente a la tensión de las piezas es semejante a la adherencia entre piezas y mortero, se da un modo de falla mixto en que el agrietamiento diagonal se da tanto en las piezas como en las juntas.

Para analizar los resultados de la resistencia a compresión diagonal (corte) de los muretes de bloques de concreto, se tiene que tener en cuenta que las variables que afectan a ésta son: El tipo de bloque, (rugoso o liso), el tipo de mortero, y la adherencia bloque-mortero.

Viendo los resultados de la gráfica 4.4. y observando los tipos de falla de las dos empresas (ver anexos A), se logra ver que los muretes conformados por la empresa Hormiblock lograron mayor adherencia entre mampuesto-mortero que la empresa Concretec, esto puede ser debido a que la adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, y al observar el acabado de las piezas, la empresa de Hormiblock tiene una superficie de asiento más rugosa e irregular en comparación de la empresa de Concretec, lo que pudo haber generado mayor adherencia del mortero y por ende mayor resistencia a cortante.

En general, los muretes de ambas empresas en estudio presentaron patrones de agrietamiento similares en ambos casos ya que se pudo observar que ambas tenían un patrón de agrietamiento mixto.

Para observar el detalle fotográfico de todo el procedimiento y ensayos realizados en laboratorio ver el anexo H.

### 4.3 Contrastación de hipótesis

De acuerdo a los resultados obtenidos y al análisis realizado a lo largo de la investigación, se ha dado respuesta a la hipótesis planteada, confirmando que *la resistencia característica a compresión y compresión diagonal (corte), de la mampostería simple de bloques de concreto, de las empresas de Hormiblock y Concrettec, pueden ser usados para la conformación de muros portantes.*

Ambas empresas, según el análisis realizado sobre la resistencia a la compresión de los bloques de concreto de perforación vertical (hueco), clasifican como elementos portantes tipo I, es decir que tienen valores mayor a los 6 MPa exigidos por la NB 1220035.

El Reglamento CIRSOC 103 Parte III especifica que para todos los edificios de más de 7 m de altura o de más de 2 pisos, se requerirá que los bloques de hormigón tengan una resistencia característica a compresión no menor que 8,5 MPa. Teniendo en cuenta esta especificación y los resultados de la resistencia a compresión de los bloques de hormigón de ambas empresas en estudio, solo se recomienda su uso para edificaciones de hasta 2 pisos.

Además, cabe recalcar, que las propiedades mecánicas de la mampostería simple de bloques de hormigón ensayadas en laboratorio (compresión y corte), están por encima de los valores indicativos mostrados en el Reglamento CIRSOC 103 Parte III “Construcciones de Mampostería”, lo cual nos sirve como pauta para creer que los resultados son aceptables.

## 4.4 Conclusiones y recomendaciones

### 4.4.1 Conclusiones

- Luego del análisis hecho a los bloques de hormigón se vio que la uniformidad es una característica que depende en gran medida del proceso de fabricación, es una condición sumamente importante que deben cumplir los bloques de hormigón no solamente en lo referido a sus dimensiones, sino también en cuanto a su calidad, textura superficial y terminación. Los bloques de hormigón de ambas empresas (Hormiblock y Concretec) se encuentran de acuerdo a la norma NB 1220035 y la NB 1220036, que en nuestro país está establecida por el IBNORCA. Sus caras son perfectamente paralelas, sus ángulos de 90° y sus medidas dentro de la tolerancia máxima que admite la norma.
- La absorción es el índice que representa el grado de compacidad o porosidad del bloque de hormigón, por lo que esta característica, junto con la resistencia a la compresión, determinan la durabilidad del bloque y su posibilidad de ser empleados en muros exteriores sin revestimientos.
- Los bloques de hormigón en estudio (Hormiblock y Concretec), son clasificados como elementos estructurales del tipo I, puesto que ambos tienen una resistencia a la compresión mayor de 6 MPa que es lo que establece como requisito para ser considerados portantes por la NB 1220035.
- El propósito primordial del mortero en la mampostería es pegar las unidades de mampostería en un ensamble que actúa como un elemento integral teniendo las características deseadas de desempeño funcional como la resistencia a la compresión. El mortero influye en las propiedades estructurales del ensamble, ya que al disminuir la resistencia a compresión del mortero de pega, disminuye asimismo la resistencia a compresión de la mampostería, sin embargo cuando la resistencia de los bloques es inferior a la de los morteros con alta resistencia no influye de manera significativa sobre la resistencia a compresión de la mampostería.

- La mampostería, es un material compuesto, heterogéneo, constituido por dos materiales de características distintas: Las unidades (bloques de hormigón) y las juntas de mortero. Su comportamiento mecánico es muy complejo, y es función de las características mecánicas de las unidades y del mortero que la componen.
- La resistencia a compresión de la mampostería es directamente proporcional a la resistencia a la compresión de los bloques. Aumentar la resistencia a compresión de los bloques, es la manera más eficiente de acrecentar la resistencia a compresión de la mampostería.
- La resistencia en cortante de la mampostería es muy variable y depende de características particulares de cada combinación de piezas y morteros. No es posible dar reglas simples para su determinación. Este debe hacerse con ensayos para los materiales específicos.
- Las condiciones de construcción y mano de obra tienen un gran efecto en el comportamiento mecánico de la mampostería simple de bloques de concreto. La mampostería de bloques de hormigón tiene su propia técnica constructiva que debe ser cuidadosamente respetada.
- Las juntas horizontales y verticales actúan dentro de la mampostería como planos de falla, ya que la interfase unidad-mortero tiene una unión débil.
- Se ha comprobado que los bloques de hormigón como sistema constructivo es excelente, ya que sus innumerables ventajas lo hacen un elemento muy versátil; y por mencionar algunas podemos decir que su comportamiento térmico lo hace muy adecuado en climas tropicales y cálidos. Podemos decir también que al irse formando las paredes de bloques estas permiten el tener una gran facilidad para poder canalizar en su interior las instalaciones de un edificio.
- A partir de la construcción con bloques de hormigón se obtiene una reducción apreciable en la mano de obra con respecto a los sistemas tradicionales, tanto por la simplificación de tareas como por el menor número de unidades a colocar. Esto último, implica además que la cantidad de mortero de asiento a utilizar disminuye enormemente.

- La uniformidad en la textura y dimensiones de los bloques da como resultado un paramento homogéneo que necesita un escaso tratamiento superficial, lo que se traduce nuevamente en economía de mano de obra y materiales.
- Las arenas carentes de granos finos producen morteros ásperos y de escasa trabajabilidad que impiden lograr juntas impermeables; mientras que las de granulometría muy fina exigen una mayor cantidad de agua de mezclado, dando por resultado morteros de inferior resistencia, si no se aumenta proporcionalmente la cantidad de cemento, a efectos de mantener la relación agua/cemento adecuada.
- La normativa al respecto es muy variada en los distintos países. Aunque en nuestro país se cuenta con normativas, se puede decir que en lo que refiere a mampostería estructural con bloques de concreto, estas se hallan inconclusas por lo que se buscó respaldo en normas extranjeras. El desarrollo que se presentó sigue lo estipulado en la norma Argentina CIRSOC 103 cuyas prescripciones se consideran muy adecuadas a la realidad constructiva de nuestro medio, para así poder completar la investigación.
- Mediante un análisis de costos, se comprueba que una edificación hecha de mampostería de bloques de concreto, resulta más económica en su construcción, a comparación de una estructura tradicional, en un porcentaje de 7,39 % aproximadamente.

#### **4.4.2 Recomendaciones**

- Para el diseño de estructuras de mampostería de bloques de concreto, se aconseja usar un factor de seguridad de 0,85; luego de la obtención de la resistencia característica de la mampostería, obteniendo un valor más conservador.
- Todos los bloques deben estar sanos y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con el proceso de colocación o que perjudiquen la resistencia o permanencia de la construcción. Las fisuras menores debidas al método de

fabricación, o las desportilladuras menores que resultan de los métodos de manipulación en el despacho y en la entrega, no son motivo de rechazo.

- Además de que el bloque sea de buena calidad, es necesario emplear las herramientas apropiadas para la manipulación y colocación de las piezas, de no ser así las piezas podrían fisurarse o llegar a ser mal colocadas, arriesgando así la funcionalidad de la mampostería.
- Conocer las características y propiedades que deben cumplir los bloques de concreto permite obtener un mejor criterio a la hora de seleccionar los que utilizará en obra.
- El espesor de la junta es también muy importante en lo que refiere a la mampostería estructural, por lo que se debe tratar de que esta tenga 1 cm de espesor puesto que mientras más sea el espesor de la junta es menor su confinamiento, por lo que es susceptible a roturas bajas aun teniendo los bloques y el mortero resistencias altas.
- El mortero para las juntas debe ser de calidad adecuada para obtener mampostería de buena resistencia y juntas impermeables a la acción de las lluvias sin necesidad de usar revoques o revestimientos protectores en los paramentos exteriores.
- Una granulometría adecuada reduce en la práctica la segregación de los materiales del mortero plástico, como también su contenido de agua y mejora su trabajabilidad. Por todo lo cual se obtiene un mortero más trabajable y que mantiene su plasticidad por más tiempo.
- El manejo y transporte de los bloques de concreto se debe hacer con cuidado, para evitar su deterioro o daño. El transporte se puede realizar unidad por unidad o en cubos armados
- El albañil debe haber sido ilustrado para esta actividad específica, conocer los principios de este sistema constructivo y las características de sus materiales, ya que la calidad final del muro y su apariencia dependen, en gran parte, de la habilidad del albañil, asimismo, la adherencia entre bloque–mortero se reduce si se tiene una mano de obra deficiente caracterizada por periodos de tiempo prolongados entre la colocación del mortero y los bloques, juntas de mortero

incompletas, movimientos para plomar y nivelar los bloques, y el uso de mortero endurecido.

- En general, para trabajos de investigación que se desarrollen posteriormente y relacionados al área de la mampostería estructural, se aconseja llevar a cabo una investigación acerca de los morteros, en el cual se considere el factor económico ya que al utilizar las dosificaciones que sugiere la ASTM C-270, con dosificaciones con cal podrían obtener resultados de mucho interés en el campo de la mampostería para observar sus distintas variaciones.

