

UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA COHORTE

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL EFECTO DEL MORTERO DE PEGA SOBRE PROBETAS DE MURO DE LADRILLO DE TIERRA COMPACTADA BAJO ESFUERZOS DE COMPRESION AXIAL

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN CONSTRUCCIONES (MSc)

AUTOR: ING ALEX VLADIMIRO PINOS CORONEL

DIRECTOR: ARQ. Msc. JOANNA JARA ALVEAR.

Cuenca, Mayo 2015

RESUMEN

La presente investigación gira en torno a la obtención de conocimientos técnicos para una correcta fabricación y utilización de los Bloques de tierra compactada o BTC como alternativa a los ladrillos de arcilla cocida.

Se analiza las granulometrías y tipos de suelos que mejor resultado han dado en pruebas realizadas por distintos investigadores y que ahora forman parte de algunos códigos de construcción en tierra. También se toca el tema de la determinación de humedad óptima de compactación y diferentes procesos de estabilización para mejorar la resistencia a la humedad directa.

Se han realizado ensayos con la finalidad de determinar el efecto del curado en los BTC, así como también el tiempo de secado de los mismos obteniéndose resultados que ayudan a comprender el comportamiento de estos elementos.

Previo a la fabricación de paredes es necesario conocer todas las variables que intervienen, es así que se ha determinado el porcentaje de absorción de agua del BTC, determinación del módulo de finura de la arena y las dosificaciones de morteros de pega para los diferentes muretes de prueba.

Finalmente se determinan las relaciones existentes entre los diferentes morteros de pega y las resistencias a la compresión de los muretes ensayados, obteniéndose criterios necesarios para elegir un mortero que logre maximizar la resistencia a la compresión del conjunto ladrillo mortero.

Palabras Clave: Fabricación de ladrillos de tierra compactada, BTC, Curado de BTC, Resistencia a la compresión, Muretes de BTC.

Abstract

This research focuses on obtaining technical knowledge for proper manufacture and use of compacted blocks or BTC as an alternative to clay bricks baked earth.

The particle sizes and types of soils that have better results on tests conducted by different researchers and are now part of some building codes in land is analyzed. Determining the issue of optimum compaction and different moisture stabilization processes to improve the resistance to direct moisture it is also played.

Trials have been conducted in order to determine the effect of curing in the BTC as well as the drying time thereof being obtained results help to understand the behavior of these elements.

Prior to making walls it is necessary to know all the variables involved, so it has been determined the percentage of water absorption BTC, determining the fineness modulus of sand and mortars dosages for different low walls test.

Finally the relationships between different mortars and resistencias compression of the low walls tested, obtaining criteria for choosing a mortar to achieve maximize the resistance to compression set brick mortar are determined.

Keywords: Making compressed earth bricks, BTC, BTC Curado, compressive strength, low walls of BTC.

Contenido

CAPITULO 1. LINEAMIENTOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.3 OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
1.4 METODOLOGIA.....	5
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	7
2.1 INTRODUCCION.....	7
EL TAPIAL.....	7
EL ADOBE.....	8
OTRAS TECNICAS.....	9
EL LADRILLO.....	9
2.2 ESTADO DEL ARTE EN LOS LADRILLOS DE TIERRA COMACTADA (BTC).....	13
2.3 ESTABILIZACION DE SUELOS.....	15
ESTABILIZANTES POR CONSOLIDACIÓN	15
ESTABILIZANTES POR FRICCIÓN	16
IMPERMEABILIZANTES.-.....	16
2.4 HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACION.	17
2.5 PERIODO DE SECADO.....	18
2.6 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS BTC. (f'_{cu})	19
2.7 DETERMINACION DEL EFECTO DEL CURADO SUPERFICIAL SOBRE LA RESISTENCIA f'_{cu}	22
2.8 COEFICIENTE DE ABSORCION DE AGUA POR CAPILARIDAD. (Cb).	23
2.9 MORTEROS DE PEGA	24

2.10	DISEÑO DE MORTERO.....	31
2.11	PRISMAS DE MAMPOSTERIA.....	33
CAPITULO 3. EXPERIMENTACION CON BTC.....		36
3.1	CLASIFICACION DEL SUELO UTILIZADO.....	36
3.2	HUMEDAD DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	37
3.3	DOSIFICACION DE LA MEZCLA.....	37
3.4	EFFECTO DEL CURADO SOBRE LA RESITENCIA A LA COMPRESION.....	38
3.5	DETERMINACION DEL PERIODO DE SECADO.....	40
3.6	DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION. (Cb)	43
3.7	DISENO DE MORTEROS.....	44
3.8	FABRICACION DE MURETES.....	46
3.9	ENSAYOS A LA COMPRESION.....	50
3.10	EVALUACION DE LAS RELACIONES EXISTENTES ENTRE MORTERO DE PEGA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MURETE.....	54
3.11	EVALUACION ECONÓMICA DEL BTC VS. LADRILLO COCIDO.....	57
CAPITULO 4. CONCLUSIONES.....		64
4.1	CRITERIOS PARA UNA NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN.....	67

Alex Vladimiro Pinos Coronel, autor de la tesis “EVALUACION ESTRUCTURAL DEL EFECTO DEL MORTERO DE PEGA SOBRE PROBETAS DE MURO DE LADRILLO DE TIERRA COMPACTADA BAJO ESFUERZOS DE COMPRESION AXIAL”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN CONSTRUCCIONES. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Mayo del 2015



Alex Vladimiro Pinos Coronel

C.I:0301065215

Alex Vladimiro Pinos Coronel , autor de la tesis “EVALUACION ESTRUCTURAL DEL EFECTO DEL MORTERO DE PEGA SOBRE PROBETAS DE MURO DE LADRILLO DE TIERRA COMPACTADA BAJO ESFUERZOS DE COMPRESION AXIAL”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Mayo del 2015



Alex Vladimiro Pinos Coronel

C.I:0301065215

DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo a mis padres y a mi esposa como símbolo de profunda gratitud, y a mis hijos DAVID Y SEBASTIAN, razón de mi lucha diaria.



EVALUACION ESTRUCTURAL DEL EFECTO DEL MORTERO DE PEGA SOBRE PROBETAS DE MURO DE LADRILLO DE TIERRA COMPACTADA BAJO ESFUERZOS DE COMPRESION AXIAL

CAPITULO 1. LINEAMIENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Cada vez es más evidente que la humanidad está consiente sobre la necesidad de preservar el medio ambiente sin embargo muchas de las actividades indican lo contrario, siendo una de ellas la industria de la construcción, la cual causa un elevado impacto al ambiente pues para desarrollarse requieren del consumo de derivados del petróleo y de combustibles fósiles, los mismos que al ser quemados expulsan al medioambiente gases altamente nocivos para la capa de ozono.

Los ladrillos necesarios para construir paredes son parte del problema debido a que los procesos tradicionales de fabricación transporte y desalojo a escombreras consumen gran cantidad de energía, por lo que el presente estudio está enfocado en adquirir conocimiento para reemplazar desde el punto de vista técnico y económico, el uso de ladrillos cocidos por ladrillos de tierra compactada.

Desde algún tiempo atrás algunos autores vienen trabajando en la elaboración de ladrillos con tierra compactada (BTC) los mismos que pueden ser sencillos o estabilizados con la adición de un pequeño porcentaje de cal o cemento que los hace resistentes a la humedad. Algunos estudios han obtenido valores de resistencia a la compresión de unidades de BTC (f'_{cu}) muy superiores a los mínimos exigidos por la Norma INEN297 que rige para ladrillos cocidos destinados a la construcción de muros de carga. Los estudios se han quedado en la determinación de

la resistencia del ladrillo cuando para su diseño debemos conocer la resistencia del conjunto mortero-ladrillo ($f'm$).

Por otro lado las viviendas unifamiliares pueden ser calculadas para tener un comportamiento sísmicamente satisfactorio al diseñar sus paredes como mampostería estructural, o como mampostería confinada, procesos de cálculo en los que interviene la resistencia $f'm$ del conjunto ladrillo-mortero.

Si mediante la presión y la adición estamos logrando que los ladrillos de tierra compactada tengan resistencias aceptables, y si logramos determinar para estos ladrillos las mismas propiedades físico mecánicas que determinamos para los ladrillos cocidos, entonces podremos, mediante un cálculo estructural, determinar técnicamente las áreas de uso de los ladrillos de tierra compactada.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el medio no se dispone de ladrillos de tierra compactada ni de estudios que indiquen las propiedades físicas mecánicas de los mismos, sin estas, su uso no puede ser respaldado por un análisis técnico o un análisis estructural adecuado.

Según datos del INEC censo 2010, indica que a nivel nacional, el 70.48% de las viviendas son del tipo "casa o villa" de las cuales el 68.89% se construyen con paredes de ladrillo cocido o de bloque. A más de esto es muy evidente que casi la totalidad de este tipo de viviendas usa por tradición el sistema estructural de mampostería confinada; es decir confina sus paredes con elementos de hormigón armado.

El diseño en mampostería confinada es un método que considera la resistencia de los muros de mampostería a las cargas sísmicas, y es por ello ideal su aplicación al diseño de

muros construidos con ladrillos de tierra compactada, requiriendo para su aplicación el conocimiento de la resistencia a la compresión (f'_{cu}) de los LTC, La resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m), El módulo de elasticidad (E_m) y el Módulo de corte (G).

El método de cálculo puede ser consultado en algunas obras, siendo ampliamente descrito por el Ing Flavio Abanto Castillo en su libro Edificaciones de Albañilería.

En el Ecuador estos 4 valores antes mencionados son desconocidos, razón por la cual es necesario la investigación en este campo, principalmente en la determinación del (f'_m).

El presente estudio pretende analizar la relación existente entre el mortero de pega (R'_m), la resistencia a la compresión (f'_{cu}) del BTC y la resistencia del conjunto ladrillo-mortero (f'_m). El espesor del motero, la resistencia, el tipo de mortero, la forma y cantidad de colocación, son variables que es necesario determinar cómo influyen en el resultado final f'_m y de ser así determinar las condiciones óptimas con las cuales estudiar a futuro los Módulos de Elasticidad y Corte.

1.3 OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Producir conocimientos para generar y aplicar un mortero idóneo que maximice la resistencia del conjunto mortero-mampostería de ladrillos de tierra compactada, para analizar el posible reemplazo al uso de ladrillos cocidos, por ventajas técnicas y económicas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Como objetivos específicos se tiene:

- 1 Clasificar el suelo a utilizarse mediante el Sistema Unificado de Suelos SUCS.
- 2 Determinar la humedad óptima de compactación del material elegido para la fabricación de los LTC.
- 3 Establecer una metodología encaminada a la fabricación de los ladrillos de tierra compactada con adición de cemento al 5%, manteniendo constante la presión de compactación, humedad y granulometría del material.
- 4 Determinar el efecto del curado superficial sobre la resistencia $f'u$.
- 5 Elaborar morteros cemento-arena, y cemento-tierra para la fabricación de probetas de muros.
- 6 Evaluar las relaciones existentes entre mortero de pega y $f'm$ para los distintos casos estudiados.
- 7 Evaluar económicamente el LTC vs. Ladrillo cocido.
- 8 A partir del conocimiento conseguido se establecerá los criterios de una normativa legal de aplicación.

1.4 METODOLOGIA.

Una vez ubicado el lugar donde se extraerá el suelo, se procede a tomar muestras del mismo para realizar pruebas de laboratorio con la finalidad de obtener granulometrías, límites de Atemberg, pesos específico suelto y compactado, y clasificación de suelos. Dentro de las primeras pruebas está la determinación de la humedad óptima de compactación, valor que determina la cantidad de agua a colocarse en la mezcla.

Para el proceso de mezclado y fabricación de los ladrillos de tierra compactada se determinará en primer lugar la humedad natural del suelo, se lo mezcla con el cemento utilizando una dosificación en volúmen para luego añadir el agua hasta lograr una humedad cercana a la óptima. En este punto el material está listo para ser comprimido mediante el uso de una prensa manual.

Par la determinación del efecto del curado de los ladrillos, es necesario que al momento del prensado, se aisle del grupo cierta cantidad de unidades con la finalidad de someterlas sin protección alguna a la acción del viento y el sol, agentes que provocan la pérdida de humedad en forma acelerada.

Luego de un tiempo prudencial de secado los ladrillos deben ser sometidos a una prueba de resistencia a la compresión axial.

La elaboración de morteros para unir los ladrillos son de diferentes proporciones y de dos tipos; los rimeros, un mortero de arena y cemento, mientras que para los segundos se reemplaza la arena por suelo utilizado para la fabricación de los ladrillos. Aquí es necesario realizar diferentes tipos de dosificaciones con el objetivo de determinar la que mejor resultados presente cuando se proceda a la rotura de los muretes construidos con estos materiales.

CAPÍTULO 1.- Lineamientos

Con los resultados obtenidos se podrá establecer las mejores opciones y evaluar económicamente el sistema.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

2.1 INTRODUCCION.

Las técnicas de construcción con barro datan de hace más de 9.000 años. En el Turquestán fueron descubiertas viviendas de tierra del período 8000-6000 a.C.(Pumpelly 1908.)

En Asiria fueron encontrados cimientos de tierra apisonada que datan del 5.000 a.C Todas las culturas antiguas utilizaron la tierra no solo en la construcción de viviendas sino también en fortalezas y obras religiosas. En México, Centroamérica y Sudamérica existieron construcciones de adobe en casi todas las culturas precolombinas. Muchas iglesias y fincas de tapial en Latinoamérica y Brasil tiene una antigüedad de aproximadamente 300 años.

En Alemania la vivienda más antigua aún habitada con muros de tapial data de 1795. La vivienda mas alta de Europa con muros de barro macizo está en Weilburg Alemania, el edificio se terminó en 1828 y aún esta habitada. (Minke, 2005)

Las técnicas constructivas con tierra mas usadas en el mundo son las siguientes: (Fernandez, 2012).

EL TAPIAL. La técnica del tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos para su construcción se emplea un molde de madera a modo de encofrado. La tierra se vierte dentro del molde y se compacta por capas con un pisón. Puede llevar fibras para evitar la poca retracción y aumentar la resistencia a tracción. También se echan piedras para aumentar su resistencia a compresión. Otras veces se mezcla la tierra con arena para aumentar su fluidez o cal para mejorar sus características mecánicas. La composición final depende de los componentes originales de la tierra. Una vez acabado el muro, se desencofra



Figura 1 . Mezquita, Kashan, Irán Fuente: Minke 2005



Figura 2. Edificio Weilburg Fuente: Minke2005

Características del material	
Contenido inicial de humedad	8,20%
Retracción	0,15%
Resistencia a compresión	3,2 N/mm ²
Módulo de elasticidad	650 N/mm ²
Resistencia a flexión	0,63 N/mm ²
Resistencia a cortante	0,79 N/mm ²

Figura 3 Características del tapial Fuente: Fernández 2012

Propiedades	Unidad	clase A	clase B
resistencia a compresión a los 28 días	N/mm ²	5-7	2-5
resistencia a tracción a los 28 días	N/mm ²	1-2	0,5-1
resistencia a flexión a los 28 días	N/mm ²	1-2	0,5-1
resistencia a cortante a los 28 días	N/mm ²	1-2	0,5-1
módulo de Young	N/mm ²	700-1000	
densidad aparente	Kg/m ³	1900-2200	1700-2000
coeficiente de expansividad térmica	mm/m°C	0,010-0,015	
hinchamiento tras inmersión 24 horas	mm/m°C	0,5-1	1-2
retracción por secado	mm/m°C	0,2-1	0,2-1
permeabilidad	mm/sec	1,10 ⁻⁵	
absorción de agua total	% del peso	5 - 10	10 - 20
calor específico	KJ/Kg	0,85	0,65-0,85
coeficiente de conductividad térmica	W/m°C	0,46-0,81	0,81-0,93
coeficiente de transmisión de vapor	%	5-10	10-30
desfase térmico	horas	10-12	5-10
aislamiento acústico muros de 40 cm	dB	50	40

Figura 4. Características de los BTC Fuente: Fernández 2012.

y se deja secar al sol. Cuando esté seco, se puede construir sobre él para hacer el tejado o un segundo piso.

EL ADOBE El adobe es una pieza maciza de barro sin cocer. Las dimensiones de la pieza varían entre 30 y 40 centímetros de largo y corresponde a una relación usual de 1:1/2:1/4 respecto a la dimensión mayor. Se basa como el tapial en tierra compactada a mano en moldes. Sin embargo, la técnica no implica moldear la tierra in situ, es decir, en el lugar donde se va a levantar el muro, sino que se moldea por piezas de forma prismática. Para su moldeo se necesita una plasticidad mayor, por lo que el contenido de arcilla suele ser mayor. A su vez, dado que el secado de piezas de barro más pequeñas se desecan en mayor medida, necesitan más cantidad de agua, por lo que la retracción también es mayor, obligando la presencia de fibras en cantidad suficiente.

El desecado de los adobes es aconsejable hacerlo a la sombra y con corriente de aire, para minimizar la retracción. Una vez desmoldados y secos, los adobes se colocan para formar el muro como piezas de fábrica con un mortero entre filas, basado también en el mismo barro pero más fluido.

EL BLOQUE DE TIERRA COMPACTADO (BTC).- Como el adobe, son piezas prismáticas de tierra que se fabrican con moldes. Sin embargo, la principal característica del BTC es que la tierra es comprimida dentro del molde, aumentando su compacidad y así, su resistencia mecánica. La mezcla suele llevar estabilizantes como cal o cemento. Suelen ser más pequeños que el adobe, pero el sistema de construcción posterior es idéntico. Otra diferencia es que, para que la compactación sea óptima, obliga que la tierra carezca de áridos superiores a 20 mm. Y debe contener finos y limos en proporciones suficientes. Además, la capa vegetal del suelo, que no es aconsejable para la construcción con tierra en general, es especialmente intolerable en los BTC, ya que su descomposición dejaría huecos

material	densidad	resistencia a compresión
adobe	1200 - 1500 kg/m ³	0,53 - 1,72 N/mm ²
cob	1615 kg/m ³	1 N/mm ²
btc (tierra comprimida)	1700 - 2000 kg/m ³	1 - 5 N/mm ²
btc estabilizado	1787,5 kg/m ³	10,8 N/mm ²
tapial	1900 - 2200 kg/m ³	3 - 4 N/mm ²

Figura 5. Resistencias a compresión de varias técnicas
Fuente: Fernández 2012

que no deberían existir.

OTRAS TECNICAS En el mundo existen muchas otras técnicas de construcción con tierra. Dependiendo de la cultura y las necesidades sociales y climáticas, muchas variantes han sido desarrolladas en el planeta. Estas son ejemplo de algunas:

El Cob. Consiste en una masa de barro y abundante paja que moldeado se realiza directamente en el muro sin encofrado. Es un sistema tradicional en el sudeste del Reino Unido. Contiene una alta proporción de arcilla, lo que normalmente da lugar a retracciones excesivas.

La Kutcha. Es una casa tradicional de Bangladés, que se puede encontrar en los pueblos y las áreas suburbanas a lo largo de todo el país. Alrededor del 74% de la población vive en este tipo de casas. Aunque las paredes son de barro y paja, puede llevar madera en su estructura y tener tejados de chapas onduladas.

El Bhonga. Se encuentra entre las viviendas tradicionales de las zonas rurales de India. Son casas de una única habitación de entre 3 y 6 metros de diámetro, que están hechas con muros de tierra cilíndricos y un tejado cónico de paja. Los muros se suelen hacer con piezas como adobes y mortero de barro .

Nyumba Ya Zidina. Es un tipo de construcción tanto en zonas rurales como urbanas de Malawi. Se estima que el 45% de las edificaciones del país son realizadas con esta técnica. Se trata de ladrillos de barro no cocidos y mortero de barro que se levantan sobre un pie de piedra y están cubiertas de un techo de paja.

EL LADRILLO.- Es el componente básico para la construcción de la mampostería, ya sea esta estructural, confinada o simplemente una pared de un cerramiento. Se lo llama ladrillo cuando sus dimensiones y peso permite que sean manejados con una sola mano en el proceso constructivo del muro, y bloque si se requiere las dos manos.

No se ha encontrado en nuestro código una clasificación de los ladrillos, por lo que se presenta a continuación la realizada por el ing. Flavio Abanto (Castillo, 2003)

POR EL MATERIAL.- Los ladrillos se clasifican por el material en:

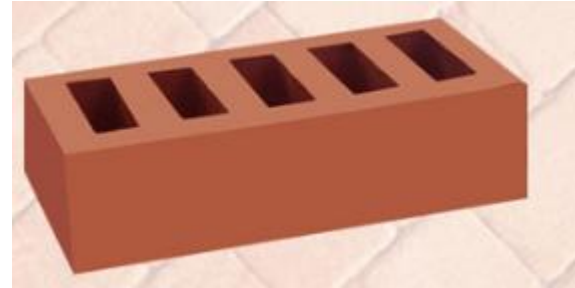
- Ladrillos de tierra cocida.
- Ladrillos o bloques silico-calcareos
- Bloques de concreto.

Los ladrillos de tierra cocida son los fabricados en forma artesanal, o en forma industrial.

Los ladrillos silico-calcareos son producto de una mezcla de tres componentes, 1) arena fina natural con un alto contenido de sílice, 2) cal viva finamente molida e hidratada en la mezcla y 3) agua. La mezcla húmeda de cal y arena es moldeada a alta presión (16 atmósferas) y endurecida por curado a vapor en autoclaves durante 8 horas como mínimo. Las unidades de albañilería silico-calcareas se usan para la construcción de muros, los cuales pueden ser muros portantes (albañilería confinada o armada) y muros no portantes.

Los bloques de concreto son fabricados con mezclas de cemento portland, arenas, pedras pequeñas y agua, los cuales son dosificados y moldeados convenientemente.

POR EL ÁREA QUE OCUPAN LOS ORIFICIOS. Los tipos de unidades de albañilería se clasifican en base a los orificios perpendiculares o paralelos a la cara de asciento que puedan tener o no las unidades.



A_b = Área bruta de la cara de asiento

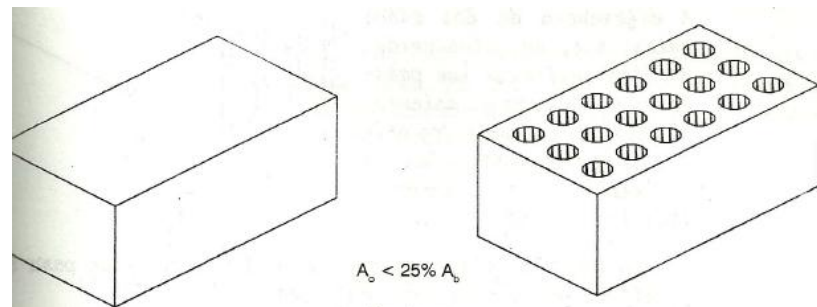
A_o = Área de un orificio.

n = Número de orificios.

Área neta = $A_b - n * A_o$.

UNIDADES SOLIDAS O MACIZAS. Son aquellas que pueden tener o no orificios. Si tienen orificios estos deben ser necesariamente perpendiculares a la cara de asiento y el área que ocupan no debe ser mayor del 25% del área bruta de la cara de asiento.

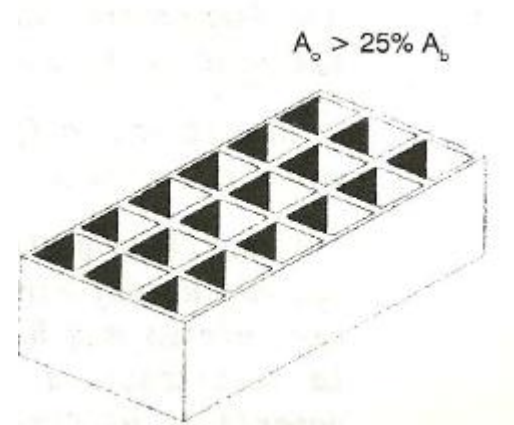
Se utilizan para construir muros portantes y no portantes y en el análisis estructural no se consideran los orificios.



UNIDADES HUECAS. En estas unidades los orificios son también necesariamente perpendiculares a la cara de asciento y el área que ocupan es mayor que el 25% del área bruta de la cara de asciento; cada orificio tiene un área tal que permite llenarlo con concreto fluido y si esto se hace durante el proceso constructivo pasan ha ser consideradas como unidades sólidas o macizas.

UNIDADES PERFORADAS. En estas unidades los orificios son también **obligatoriamente** perpendiculares a la cara del asiento y el área que ocupan es mayor al 25% del área bruta de la cara del asciento.

La diferencia con las unidades huecas es que sus orificios son de dimensiones pequeñas y no permiten llenarlos con concreto fluido. Se utilizan solamente para la construcción de muros no portantes.



UNIDADES TUBULARES. A diferencia de los casos anteriores, en estas unidades los orificios son paralelos a la cara de asciento.

El área que ocupan estos orificios con relación a la cara de asciento no está normado.

Las unidades tubulares solamente deben ser utilizadas para la construcción de muros no portantes.



2.2 ESTADO DEL ARTE EN LOS LADRILLOS DE TIERRA COMACTADA (BTC).

Los BTC son productos que tienen la forma generalmente de un paralelepípedo estabilizados con cemento para conseguir o desarrollar las características particulares del producto . Los bloques se obtienen por compresión estática o dinámica del suelo en un estado húmedo, seguido de un desmolde inmediato. Estos bloques son generalmente instalados con

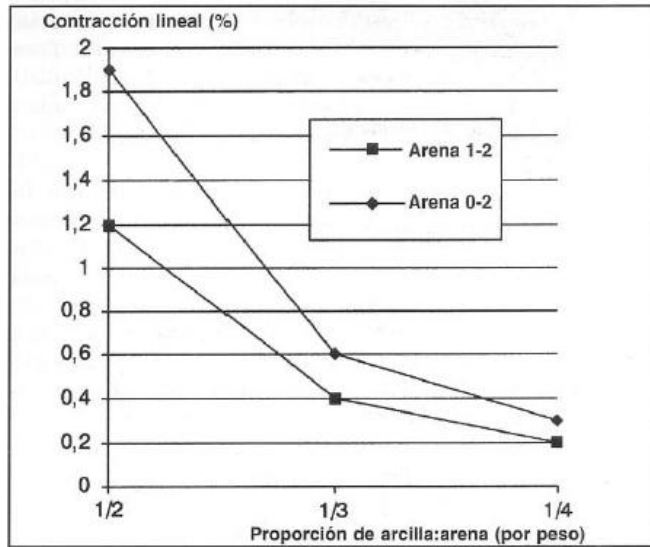


Figura 6. Reducción de retracción añadiendo arena a un suelo arcillo-limoso Fuente: (Minke, 2005)

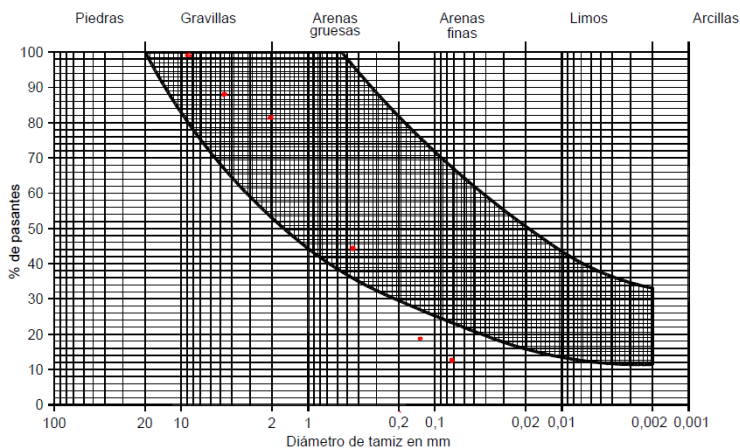


Figura 7. Granulometría recomendada para BTC Fuente NTC-5324

juntas de mortero, que sirven para la construcción de muros y divisiones. (ICONTEC, 2004).

SUELOS RECOMENDADOS PARA BTC.

Uno de los problemas a resolver es la expansión y retracción de la arcilla al entrar en contacto con el agua. Las fisuras de retracción en superficies de barro expuestas a la lluvia deben evitarse debido a la creciente erosión. La retracción durante el secado depende del contenido de agua, del tipo y cantidad de minerales arcillosos y de la distribución granulométrica de los agregados. (Minke, 2005)

El suelo ideal para la fabricación es aquel que tenga bajo contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, ya que con la absorción y secado del agua la arcilla expansiva altera su volumen y no lo recupera. (Karen, 2011)

Algunas publicaciones recomiendan que los suelos aptos sean los que contienen cantidades mayores al 50% de arena, pero no superior al 75%. Por otro lado Minke establece una curva en la cual relaciona la proporción de arcilla/arena en función de la contracción lineal, llegando a establecer que mientras menor sea esta proporción menor será la contracción del material.

En 2008 salió la Normativa Española UNE 41410, de bloques de tierra comprimida para muros y Tabiques la cual utiliza las tablas de la figura 7 y 8 (Fernandez, 2012), de igual manera la NTC-5324 también presenta estas tablas en sus recomendaciones, y restringe el uso de suelos orgánicos para la fabricación de BTC y finalmente expresa que los materiales que no se inscriban en los rangos dados pueden, a veces, dar resultados aceptables, pero se recomienda someterlos a ensayos que permitan verificar su conveniencia.

Si el suelo tiene demasiada arcilla se puede adicionar arena a la mezcla para modificar los porcentajes, pero si el suelo tiene demasiada arena, es mejor buscar otro suelo ya que el material fino es más difícil de encontrar.

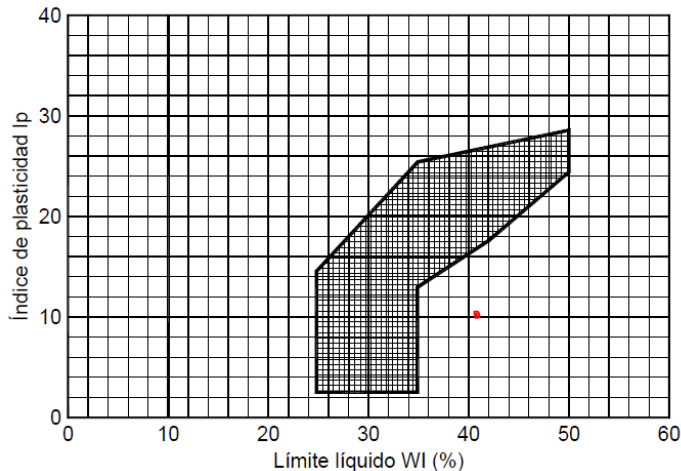


Figura 8. Plasticidad recomendada para BTC Fuente: NTC: 5324

2.3 ESTABILIZACION DE SUELOS.

Para mejorar el material tierra se realizan estabilizaciones, estas pueden ser procesos homogéneos y procesos heterogéneos. Los procesos homogéneos consisten en agregar el material faltante, si la tierra es poco cohesiva, arcilla, y si es muy cohesiva, arena, los materiales se incorporan en seco y deben ser semejantes al material por estabilizar. En los procesos heterogéneos ocurre incorporación de otro tipo de materiales que cumplen con la función de brindar estabilidad al material natural; este proceso se divide en estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilizantes.

ESTABILIZANTES POR CONSOLIDACIÓN.- En este grupo tenemos la incorporación de la cal o el cemento a la mezcla, usualmente utilizados para incrementar la resistencia del ladrillo a las inclemencias del tiempo e incrementar la resistencia a la compresión. Sin embargo la resistencia a la compresión “puede también decrecer con esos aditivos especialmente cuando su cantidad es menor al 5%. Esto se debe a que la cal y el cemento interfieren con la cohesión de los minerales de arcilla. Mientras mayor sea el contenido de arcilla mayor debe ser la cantidad de cal o cemento a adicionar. (Minke, 2005)

Minke indica que en base a ensayos se demostró que generalmente **la cal da un mejor efecto de estabilización con suelos ricos en arcilla mientras que el cemento da mejores resultados con suelos arenosos.**

ESTABILIZANTES POR FRICCIÓN.- La idea central es la adición de fibras naturales o sintéticas que ayudan a incrementar la resistencia del material y controlan la contracción y fisuración mediante la adhesión de las fibras al material, si las fibras son naturales se las debe adicionar secas para evitar su descomposición.

Otra forma de estabilizar el material es mediante la presión, y es así que Jan Ruzicka en sus estudios de doctorado sobre los BTC, llega a la siguiente conclusión:

“Cuando es baja la presión (2,0 Mpa, similar a la registrada cuando se procesa el adobe a mano) aplicada en la producción de los bloques, la adición de 5% de cemento o cal sí mejora la resistencia a presión del bloque. Al contrario, cuando se emplea el doble de presión (4,0 Mpa) la diferencia es más pequeña; y cuando es de 8,0 Mpa (ca. 80 kg por cm²) los bloques sin adición realmente logran las mismas resistencias de los que llevan cemento y dejan atrás a los hechos con cal”.

Por otro lado otros estudios (GALÍNDEZ, 2009) aplicando presiones de compactación de 4-6 y 8kg/cm² determinaron experimentalmente que a un mayor índice de plasticidad (manteniendo constante la presión al compactar) corresponde mayor resistencia a la compresión». Sin embargo es necesario poner un límite a la plasticidad ya que la misma está relacionada con la contracción del material y la fisuración del elemento.

IMPERMEABILIZANTES.- Son productos que se aplican con la finalidad de impedir el ingreso de agua por capilaridad o de lluvia hacia los poros del material, estos pueden ser diferentes tipos de grasas naturales como también productos sintéticos.

2.4 HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACION.

La compactación se la puede definir como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de vacíos en la masa de suelo, de tal forma que sus partículas tienen mayor contacto entre sí, lo cual provoca un aumento en la densidad del material.

En el año 1933, R.R.Proctor "encontró que aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, figura 9, en la cual se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación" (Crespo, 1994).

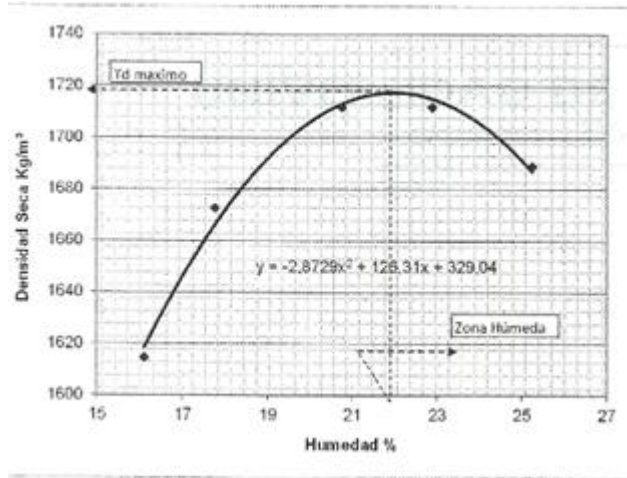


Figura 9. Curva de compactación Vs. Humedad Fuente: Autor

COMPACTACION DE LOS BTC

A principio de la década de los cincuenta, el ingeniero chileno Raúl Ramírez, desarrolló para el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA), con sede en Bogotá Colombia, una prensa de operación manual para fabricar bloques para construcción usando suelo-cemento como materia prima. La máquina alcanzaría pronto fama internacional con el nombre de CINVA-RAM.

Básicamente la CINVA-RAM consta de una caja o molde dentro del cual un pistón actuado por un dispositivo de palanca operado a mano, comprime la mezcla fresca de suelo-cemento para formar el bloque. Al accionar la palanca en sentido inverso, el mismo pistón expulsa el bloque, el cual es retirado manualmente para ser puesto a curar a la sombra y en húmedo por un período mínimo de siete días. No obstante de tratarse de un aparato sumamente portátil, de gran simplicidad mecánica, bajo costo, fácil manejo y mantenimiento sencillo, la CINVA-RAM es capaz de moldear a alta presión, bloques densos y bien

conformados de la más alta calidad, **a razón de unas 600 unidades por jornada de ocho horas.** (Roberto E. Lou, 2010)

A partir de este modelo, han surgido un sin número de modificaciones, las cuales disponen de motores sistemas hidráulicos para su operación y muchas de ellas han sido modificadas para incrementar la presión de compactación.

En nuestro caso utilizamos la prensa original de operación manual.

2.5 PERIODO DE SECADO.

Una vez comprimida la tierra, el ladrillo de tierra compactado empieza a secarse y perder humedad progresivamente hasta el punto en que alcanza su equilibrio con el medio ambiente; este intervalo de tiempo lo podemos definir como su período de secado. De aquí en adelante “Mientras mayor la humedad mayor la cantidad de agua absorbida por el material. Si la humedad del aire reduce, el material devolverá agua” (Minke, Manual de construcción en tierra, 2005)

Gernot Minke, en un estudio con diferentes tipos de material y condiciones ambientales establece un período de secado de 14 a 30 días. Además nos indica que el barro en contacto con el agua se expande y ablanda, en cambio bajo la influencia del vapor, este absorbe la humedad pero permanece sólido y mantiene su rigidez sin expandirse. Así el barro puede balancear la humedad del aire al interior de la vivienda.

Tipo de Unidad	f'_{cu} (MPa)
Ladrillo macizo	2
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de hormigón o de arcilla	3

Figura 10. Tabla de resistencias mínimas f'_{cu} Fuente NEC-11

	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Seca	2	4	6
Húmeda	1	2	3

Figura 11. Valores mínimos de resistencia a la compresión Fuente: NTC5324

2.6 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS BTC. (f'_{cu})

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 no dispone de normativa para los Bloques de tierra compactada (BTC); revisado el Capítulo SE encontramos el diseño con mampostería confinada y el criterio para aceptación de las unidades de arcilla cocida.

La Norma indica que “las unidades que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener al menos las resistencias mínimas que se proporcionan en la Figura10. La resistencia especificada corresponde a la fuerza de rotura dividida entre el área bruta de bloque ó ladrillo.” (NEC, 2011)

Con relación a los BTC y a las condiciones en las cuales se ejecutan las pruebas, se hace una recopilación y comparación entre normas(J. Cid, 2011).

La norma Colombiana NTC- 5324, aplicable para bloques de suelo cemento determina que la prueba debe ser realizada bajo las siguientes premisas:

- Bloque partido unido mediante junta de mortero
- Número de muestras: 8 piezas
- Junta de mortero: capa de mortero de cemento de 10mm de espesor máximo.
- Velocidad de carga constante 0.02mm/s o lo correspondiente a un aumento de presión de 0.15 - 0.25 Mpa/s
- Valores de compresión de (Tabla 1).
- Acondicionamiento de la superficie: sin especificar, sugiere la utilización de hojas de cartón o triplex de 3mm.
- Todos los valores no deben ser inferiores a 0.8 veces cualquiera de los valores descritos en la Tabla 1.

La Norma Española UNE 41410 (AENOR 2008), determina que la prueba debe ser realizada bajo las siguientes premisas:

	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Seca	1,3	3	5

Figura 12. Valores de compresión según UNE 41410

- Tipo de muestra: Bloque entero.
- Numero de muestras: sin especificar.
- Junta de mortero: sin especificar.
- Velocidad de carga según norma UNE 772- 1:2002.
- Valores de compresión (Tabla 2)
- Acondicionamiento de la superficie: sin especificar.
- Todos los valores no deben ser inferiores a 0.8 veces cualquiera de los valores descritos en la Tabla 2.

En la Norma Brasileña NBR (ABNT 1986-1996) consta lo siguiente:

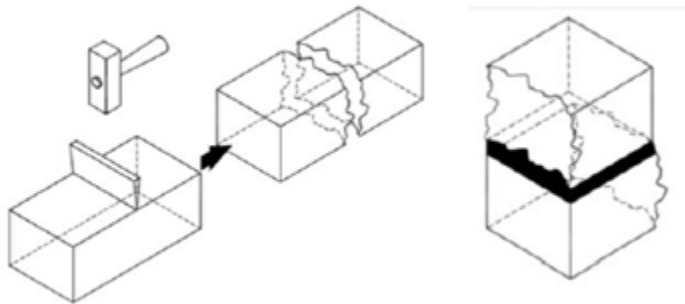


Figura 13. Ensayo con bloque partido. Fuente (Cid,2011)

- Tipo de muestra: Bloque partido unido mediante mortero.
- Numero de muestras: 13 boques por lote.
- Junta de mortero: sin especificar.
- Velocidad de carga: 500N/s (30KN/min).
- Valores de compresión: **mayor a 2 N/mm²**.
- Acondicionamiento de la superficie: sin especificar.

Norma de la India, IS 1725 (BIS 1982).- determina que la prueba debe ser realizada bajo las siguientes premisas:

- Tipo de muestra: Bloque entero.
- Numero de muestras: sin especificar.
- Junta de mortero: sin especificar.
- Velocidad de carga: sin especificar.
- Valores de compresión: mayor a 2 -3 N/mm².
- Acondicionamiento de la superficie: sin especificar.
- No acepta valores menores al 20% de los recomendados.

Año	País	Norma	REF
1979	Perú	NTP 331.201,331.202,331.203	36-38
1980	India	IS 2110	25
1982	India	IS 1725	26
1985			25, 26

Norma de Kenya KS 02-1070 determina que la prueba debe ser realizada bajo las siguientes premisas:

- Tipo de muestra: Bloque entero.
- Numero de muestras: 10 muestras (5 a compresión seca y 5 húmeda)
- Junta de mortero: sin especificar.
- Velocidad de carga: 150 kN/ min.
- Valores de compresión: mayor a 1.5-2.5 N/mm².
- Acondicionamiento de la superficie: colocar tablero de madera de 3mm de espesor en caras del bloque.
- Tiempo de curado 28 días.

En un estudio de 55 normas y reglamentos internacionales relacionados con la construcción con tierra cruda se llega a la conclusión que si nos centramos en el ensayo a compresión de las piezas de BTC nos encontramos con dos alternativas: ensayar el bloque partido y apilado, caso de normas brasileñas y norma francesa; o ensayar la pieza completa como en el caso de la norma española.

Ninguna de las norma define puntualmente el tipo de mortero

Hay que notar que el ensayo con el bloque partido, está introduciendo la variable del mortero, es decir los valores de resistencia obtenidos son del conjunto ladrillo y mortero, cosa completamente distinta a obtener la resistencia individual de la pieza.

Otro punto es que al momento de dividir el ladrillo, el golpe provocado para dividirlo puede influir de alguna manera en el elemento cortado, además según la norma NTC, antes de unir las dos mitades se debe sumergir parcialmente dentro de 1 cm a 2 cm de agua durante 15 min la cara de apoyo y la cara de pega, siendo la absorción de humedad otra variable introducida a la prueba.

Figura 15. Normativas vigente Fuente: (Fernandez, 2012)

Estudios realizados por J. Cid utilizando un material más homogéneo en composición y similar a los bloques de tierra comprimida, demuestran que las pruebas de resistencia a la compresión arrojan datos más homogéneos cuando se usa madera de 3mm en lugar de mortero como elementos para capear los ladrillos.

En este estudio es necesario determinar por separado la resistencia a la compresión del BTC y luego la influencia del tipo de mortero en la resistencia del conjunto, para ello se realiza las pruebas de compresión simple apegándonos a la norma Española, es decir usando el ladrillo completo más el capeo con madera de 3mm.



Figura 16. Ladrillos curados y sin curar Fuente: Autor

2.7 DETERMINACION DEL EFECTO DEL CURADO SUPERFICIAL SOBRE LA RESISTENCIA f'_{cu} .

Muy poca información se tiene sobre el curado de los ladrillos de tierra compactada, la recomendación general es que se los seque a la sombra para evitar una pérdida de humedad violenta, y posibles retracciones del material arcilloso.

Al ser el ladrillo BTC una mezcla de tierra con cemento, es necesario determinar si el curado de la fracción de cemento adicionada para su estabilización tiene acciones positivas sobre la resistencia a compresión de los elementos.

Como referencia se tiene que las probetas de hormigón son curadas mediante la inmersión total en agua durante 28 días, con esto se garantiza la hidratación del elemento; sin embargo, por obvias razones, este método no puede ser aplicado a los BTC.

El uso de una lámina plástica para el curado de probetas de hormigón fue utilizado con éxito en un estudio realizado en los Emiratos Arabes Unidos. (Ahmed H. Bushlaibi, 2002). Siguiendo esta experiencia y respetando el objetivo principal del curado que es evitar que el elemento pierda agua por evaporación superficial, se toma la decisión de “curar los BTC a la sombra” utilizando una película plástica que sirve para guardar los alimentos; esta membrana tiene la cualidad de adherirse muy firmemente convirtiéndose prácticamente en una piel que no deja escapar el agua. Se pesa diariamente los ladrillos en una balanza digital de 2g de precisión observándose que no existe variación de peso en los 28 días de curado.

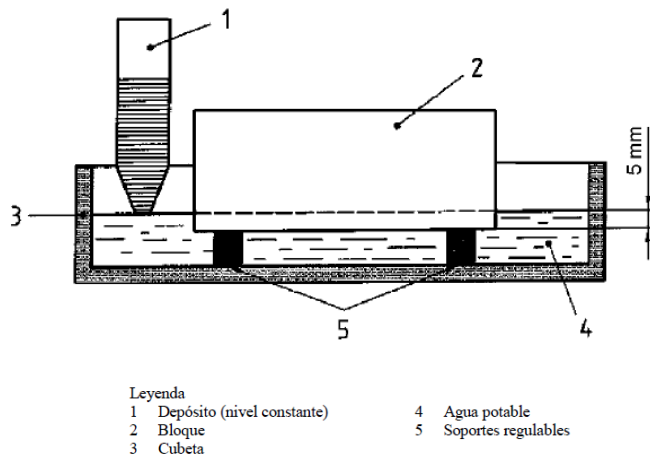


Figura 17. Prueba de absorción por capilaridad

2.8 COEFICIENTE DE ABSORCION DE AGUA POR CAPILARIDAD. (Cb)

El BTC al igual que los ladrillos cocidos tienen un porcentaje de absorción de agua por capilaridad, el mismo que debe ser determinado técnicamente previo al diseño del mortero, para evitar que el BTC absorba el agua de hidratación destinada al mortero.

En este punto existe coincidencia entre las normas Española, Colombiana y Francesa que utilizan el mismo proceso.

La NTC determina un tiempo de 15 minutos y sumersión de 1 a 2 cm para lograr la correcta hidratación del ladrillo a pegarse.

2.9 MORTEROS DE PEGA

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante, un material de relleno, agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.

En el Capítulo 10 de la NEC-11 se define al mortero de pega como la "Mezcla plástica de materiales cementantes, agregados finos (arena) y agua utilizado para unir las piezas de mampostería.

Los morteros pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de cementante, así tenemos:

Morteros calcáreos: los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos.

Morteros de yeso: Se preparan con yeso hidratado con agua, el mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar en muy poco tiempo.

Morteros de cal y cemento: Son aconsejables cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia (superior a la de los morteros de cal; en estos morteros se sustituye parte del cemento por cal, razón por la cual se les conoce también como Morteros de Cemento Rebajado, muy utilizados en Colombia, pero prácticamente desconocidos en nuestro medio por la dificultad de obtención de la cal y la mala calidad de la misma.

La norma más difundida que regula estos tipos de mortero es la ASTM-270, la cual clasifica los morteros de pega por propiedades mecánicas y por dosificación.

TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			CEMENTO PORTLAND	CEMENTO ALBANILERÍA	CAL	AGREGADO FINO SUELTO
	(Mpa)	(Kg/cm ²)	(P.S.I.)				
M	17.2	175	2500	1 1	1 -	0.25	Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado
S	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.50	
N	5.2	53	750	- 1	1 -	0.5 a 1.25	
O	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.50	
K	0.5	5	75	1	-	2.50 a 4.00	

Figura 18. Tipos de mortero Fuente: ASTM

En la tabla se puede ver que los morteros se forman mediante la mezcla de dos tipos de cemento y cal, prácticas que no se las ejecuta en nuestros sistemas constructivos.

MORTEROS DE CEMENTO.

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas, una vez que el mortero ha endurecido, se puede usar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la proporción cemento: arena usada. La confección de este mortero, que es hidráulico, ha de efectuarse de un modo continuo, organizando un abastecimiento con arreglo al consumo de cada momento, de manera tal que entre el amasado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y la arena y luego se añade al agua. (Guzmán, 2001).

El mortero de cemento está constituido por un esqueleto de granos de arena, tangentes entre sí. Con el cemento se pretende darle una soldadura perfecta de manera tal, que

cada grano quede cubierto de una fina película de cemento. Como además el mortero deberá formar una maza homogénea y compacta, las características de la arena, tales como: la granulometría módulo de finura, forma y textura de las partículas, deben ser las adecuadas para lograr un acomodamiento de partículas que permiten la mayor compacidad y el menor consumo de cemento.

Desde luego, la cantidad de cemento no puede disminuir mucho, ya que si la mezcla es muy pobre en aglomerante, esta se hace áspera e intrabajable porque las partículas de arena rozan entre sí, al no existir la pasta lubricante de cemento.

Si se desea aumentar la trabajabilidad, pueden usarse arenas con ligeras proporciones de limo e incluso arcilla (arenas grasa, ya que su contenido de finos brinda rellenos lubricantes a los granos de arena). De hecho en Bogotá, D.C., las arenas que se utilizan para pañetes, (revoques) y revestimientos son de este tipo, ya que la arcilla que contienen (hasta 10%) le confiere una gran cohesión y capacidad de adherencia a la mezcla. Estas son las llamadas arenas de peña, las cuales son explotadas en canteras situadas en los cerros orientales de la ciudad y utilizadas prácticamente tal como salen de la cantera sin ser sometidas a ningún proceso de lavado. Por otro lado, en el caso de los morteros de pega de mampostería de ladrillo de arcilla cocida, ha sido costumbre utilizar este mismo tipo de arena pero con un ligero lavado que reduce el contenido de arcilla (hasta 3% o 4%). Finalmente, tampoco deben prepararse morteros muy ricos para usos normales, y que pueden ser demasiado resistentes y con alta retracción al secado, y por ello susceptibles al agrietamiento. (Guzmán, 2001)

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Figura 19. Usos de mortero según dosificación Fuente: ASTM

PROPIEDADES EN ESTADO PLASTICO.

La trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero en estado plástico. Un mortero trabajable puede extenderse con facilidad con una llana en las separaciones y agrietamientos de la unidad de mampostería. Un mortero trabajable también resiste el peso de las unidades de mampostería al ser colocadas y facilita su alineamiento. Se adhiere a las superficies verticales de la mampostería y se escurre fácilmente por las juntas del mortero cuando el obrero aplica presión para alinear la unidad. La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia, las cuales son medidas con exactitud en el laboratorio. El obrero puede evaluar de mejor manera la trabajabilidad al observar el comportamiento del mortero con el palustre. (Norma INEN, 2010)

La retención de agua es una medida de la habilidad de un mortero sometido a absorción, para retener su agua de mezcla. Esta propiedad del mortero da tiempo al obrero para colocar y ajustar una unidad de mampostería sin que el mortero se endurezca. La capacidad de retención de agua se aumenta

mediante el incremento de cal o contenido de aire, adición de arena fina dentro de los límites de graduación permitidos, o usando materiales retenedores de agua. (Norma INEN, 2010). La retención de agua incide altamente en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, ya que, por ejemplo, una mezcla incapaz de retener el agua no permite la hidratación del cemento. (Guzmán, 2001).

CARACTERÍSTICAS DE ENDURECIMIENTO.

El endurecimiento del mortero en estado plástico está relacionado con las características de fraguado, tal como lo indica la resistencia a la deformación. El fraguado inicial, tal como se mide en el laboratorio, para materiales cementantes, indica el grado de hidratación o las características de fraguado de la pasta de cemento puro.

Un endurecimiento prematuro del mortero antes de su uso es perjudicial. El mortero para mampostería se torna rígido a medida que pierde agua y se endurece mediante el fraguado normal del cemento. Esa transformación se puede acelerar con calor o retardarse con frío. Una velocidad conveniente de endurecimiento le ayuda al obrero en el acabado de juntas. (Norma INEN, 2010)

Los tiempos de fraguado inicial y final de la mezcla deben estar entre límites adecuados. Por lo general, se aceptan valores entre 2 y 24 horas, respectivamente. Sin embargo, estos dependen de diferentes factores tales como las condiciones del clima o la composición de la mezcla y hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos. (Guzmán, 2001)

PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.

La adherencia es probablemente la más importante propiedad física individual en el mortero en estado endurecido. Es también la más variable e impredecible. La adherencia actualmente tiene tres aspectos: resistencia, extensión y durabilidad.

Debido a que existen muchas variables que afectan la adherencia, es difícil establecer un solo ensayo de laboratorio para cada una de estas categorías que pueda reproducir resultados consistentes, los cuales se aproximen a los resultados en la obra. Estas variables incluyen el contenido de aire, cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre la aplicación del mortero y la colocación de la unidad de mampostería, absorción de unidades de mampostería, capacidad de retención de agua del mortero, presión aplicada a la junta de Mampostería durante la colocación, acabado, textura de la superficie de pega de la unidad de mampostería y condiciones de curado. (Norma INEN, 2010).

En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. **Morteros de baja capacidad de retención de agua y morteros de alta resistencia se adhieren solo en partes por lo que su adherencia es pobre.** En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia, es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero y además debe tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla del mortero. Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación son los más aceptables y de mayor utilización en mampostería ya que permiten una íntima unión entre las piezas. (Guzmán, 2001).

Se ha encontrado que esta adherencia se logra en gran medida por un efecto mecánico que ocurre al absorberse la lechada que penetra en los poros de las piezas. Al endurecerse la lechada se forman cristales que generan la trabazón mecánica entre ambas piezas. (Gabriel, Luis, & Alfonso, 2005)

La extensibilidad es la máxima deformación unitaria por tracción a la rotura. Esta indica la máxima elongación posible bajo fuerzas de tracción. Morteros de baja resistencia, que tienen un bajo módulo de elasticidad, presentan un flujo plástico mayor que aquellos con módulo de elasticidad alto con igual relación pasta - áridos. Por esta razón, no se debe usar morteros con resistencias más altas que las necesarias. El flujo plástico o creep aporta flexibilidad a la mampostería, permitiendo pequeños movimientos sin la abertura visible en las juntas. (Norma INEN, 2010).

Algunas veces la **resistencia a la compresión ($R'm$)** del mortero es usada como el criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, puesto que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la resistencia a la tracción y la absorción del mortero. Generalmente, los morteros deben ser más débiles que las unidades de mampostería, de tal forma que las fisuras, ocurran en las juntas de mortero donde se pueden reparar más fácilmente. El contenido de agua es, posiblemente, el aspecto menos comprendido del mortero para mampostería, probablemente debido a la confusión entre los requisitos del mortero y del hormigón.

Los requisitos de agua para mortero son muy diferentes a los del hormigón en donde es necesaria una baja relación agua/cemento. **Los morteros debe contener la cantidad máxima de agua compatible con una óptima trabajabilidad. Los morteros pueden además ser retemplados para reponer el agua que se pierde por evaporación.** (Norma INEN, 2010).

2.10 DISEÑO DE MORTERO.

El mortero de cemento es un material ampliamente difundido en nuestro medio para la pega de mampostería y enlucidos, pero no se lo trabaja con un diseño de resistencia específica sino más bien por dosificaciones en volumen que son ya tradicionales, 1:3, 1:5, 1:7.

En un principio se pensaba la elaboración de morteros en función de las proporciones más usadas en nuestro medio, pero esto conduce a que, dependiendo de las características físicas de la arena usada, la resistencia a la compresión del mortero sea una variable sin controlar, por lo que se opta por usar el método de diseño de morteros propuesto por el Ing. Gerardo A. Rivera L en su libro Concreto simple, el cual toma en cuenta el módulo de finura de la arena, Humedad, absorción del ladrillo, plasticidad del mortero y una resistencia específica.

PROCEDIMIENTO

Antes de proceder a dosificar un mortero, deben conocerse ciertos datos de la obra a realizar, como también las propiedades de los materiales que se van a emplear en la construcción para preparar el mortero.

DATOS DE LA OBRA

- Finura del agregado recomendado (Módulo de finura)
- Máxima relación agua/cemento
- Fluidez recomendada
- Mínimo contenido de cemento
- Condiciones de exposición
- Resistencia a la compresión de diseño del mortero.

PASOS A SEGUIR

Para obtener las proporciones de la mezcla del mortero que cumpla las características deseadas, con los materiales disponibles se prepara una primera mezcla de prueba teniendo como base unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo el orden que a continuación se indica:

- 1 Selección de la fluidez
- 2 Determinación de la resistencia de dosificación
- 3 Selección de la relación agua/cemento
- 4 Estimación del contenido de cemento
- 5 Cálculo de la cantidad de agua
- 6 Cálculo del contenido de agregado
- 7 Cálculo de las proporciones iniciales
- 8 Primera mezcla de prueba. Ajuste por humedad del agregado
- 9 Ajustes a las mezclas de prueba

Con los resultados de la primera mezcla se procede a ajustar las proporciones para que cumpla con la fluidez deseada, posteriormente se prepara una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas; las propiedades de esta segunda mezcla se comparan con las exigidas y si difieren se reajustan nuevamente. Se prepara una tercera mezcla de prueba que debe cumplir con la fluidez y la resistencia deseada; en caso que no cumpla alguna de las condiciones por errores cometidos o debido a la aleatoriedad misma de los ensayos, se puede continuar haciendo ajustes semejantes a los indicados hasta obtener los resultados esperados.

El proceso numérico de cálculo se adjunta mas adelante.

Para el caso de los morteros de tierra y cemento, y al no existir método probado de diseño de estos morteros, optamos por mezclar la misma tierra empleada en la elaboración de los ladrillos, con proporciones de cemento de 5,10,y 20%, de esta



manera obtendremos resistencias iguales o mas altas a las de los ladrillos tomando en cuenta que estos fueron elaborados con porcentajes del 5% de cemento.

2.11 PRISMAS DE MAMPOSTERIA.

La construcción de un prisma o murete es la unión de varias unidades de mampostería usando un mortero de pega.

Los prismas son elaborados con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión del conjunto ladrillo - mortero; esta resistencia ($f'm$), es un valor fundamental para el diseño en mampostería estructural como para la mampostería confinada. Los muretes debe ser construidos cumpliendo con las especificaciones que establecen los respectivos códigos de construcción que para Ecuador y para los ladrillos cocidos unidos con mortero cemento-arena rige la NEC-11 en su capítulo 6 Mampostería estructural Anexo 6.A,

Figura 20. Construcción de Muretes de prueba Fuente: Autor

De igual forma la normativa colombiana NTC-3495 (ASTM E447) para mampostería estructural describen esta prueba establecidas para trabajar con ladrillos cocidos; sin embargo, ante la falta de normativa o procedimientos normados para la experimentación con BTC, y por la analogía con el presente estudio, se asumen estos procedimientos de la forma abajo descrita.

Se comparan las dos normas y se procede de la siguiente manera.

Dimensiones del murete.

La NEC-11 con relación a las medidas del murete establece.

- El espesor del prisma debe ser igual al espesor de los muros y vigas de la estructura.
- La longitud del prisma debe ser mayor o igual al espesor y a la longitud de la unidad de albañilería.

Altura del prisma:

- Incluir un mínimo de tres hiladas; y
- El cociente entre la altura y el espesor debe ser mayor o igual a 3.

La NTC-3495

- Altura mínima 30 cm.
- $1.5 < (\text{Alto} / \text{ancho}) < 5$

Además se incluye un factor de corrección por esbeltez del murete

Alto / Ancho	1.5	2	2.5	3	4	5
Factor de corrección	0.86	1	1.04	1.07	1.15	1.22

Figura 21. Factores de corrección por altura Fuente NTC-3495

A más de esto, la NEC indica que los prismas construidos en laboratorio deben almacenarse cubriéndose con polietileno durante los primeros 14 días. Durante las últimas semanas deben mantenerse descubiertos en las condiciones ambientales del laboratorio.

Lo antes indicado puede entenderse como la forma de proteger el mortero de pega, con la finalidad de evitar una pérdida por evaporación del agua del amasado.

Los prismas deben ensayarse, en general, a la edad de 28 días, la cual se considera como edad de referencia.

En el presente estudio los BTC tienen en promedio las siguientes medidas 14x29x9.3cm por lo que definimos las dimensiones del murete de prueba de la siguiente manera:

-Espesor del prisma = 14cm

-Longitud del prisma = 29cm

Si se fija el espesor del mortero en 1.0 cm y cumpliendo con el mínimo de la NEC-11 de tener 3 hiladas, tendríamos una altura de 30cm.

Con estas medidas (14x29x30) la relación alto/ancho sería de 2.0 con una corrección de 1.0

Ademas hay que seguir las siguientes recomendaciones:

- Debe fabricarse en las mismas condiciones de la obra.
- El valor de $f'm$ para una muestra debe ser el promedio obtenido del ensayo de tres muretes de igual procedencia, pero no debe ser mayor del 125% del menor valor obtenido.

CAPITULO 3. EXPERIMENTACION CON BTC

La metodología está enfocada en diseñar morteros de cemento y arena en proporciones tales que se pueda obtener valores de resistencia del mortero ($R'm$) que sean superiores, relativamente cercanos, e inferiores al valor de la resistencia a la compresión del BTC ($f'cu$) con estos morteros se confecciona los muretes, tres por cada dosificación.

En este punto lo fundamental es determinar la resistencia del mortero ($R'm$), la resistencia individual del ladrillo ($f'cu$), la resistencia del conjunto ($f'm$) y sus relaciones. Cuando hablamos del conjunto, nos referimos a la resistencia del murete formado por la unión de los BTC mediante el mortero de pega.

El efecto del espesor de la junta de mortero en muros de ladrillo cocido ha sido evaluado ya por algunos investigadores encontrándose que "Respecto a la resistencia de las probetas se observa, especialmente en los muros, un incremento de la resistencia a medida que disminuye el espesor de la junta de mortero. Este aspecto ha sido observado por otros autores en probetas a escala" (S.M. Monteagudo, 2011), por lo tanto en este estudio fijamos esta variable a un espesor de 1 cm.

3.1 CLASIFICACION DEL SUELO UTILIZADO.

Para la fabricación del suelo se realiza una granulometría y determinación de límites de Atemberg así podemos obtener los datos para graficarlos sobre la curva recomendada por la NTC (Fig.7)

Según la clasificación SUCS el suelo es Tipo SM

Humedad natural: 15.26%

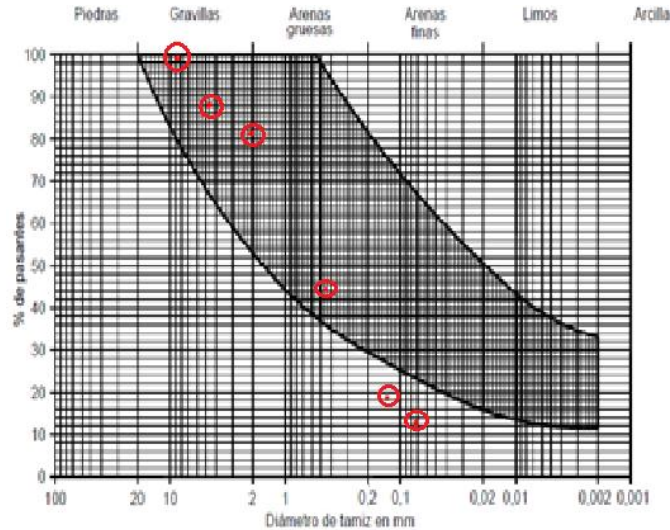


Figura 22. Granulometría del suelo Fuente: Autor

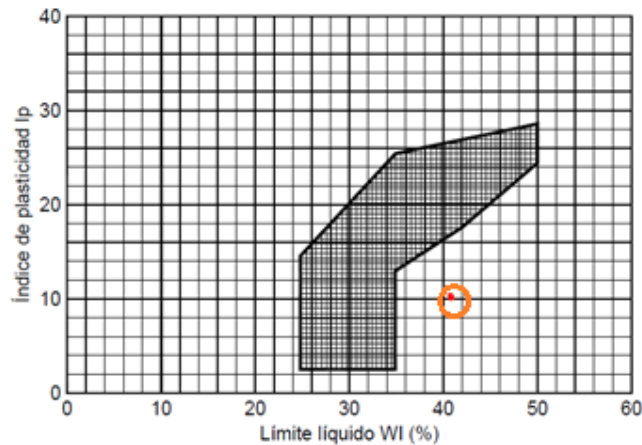


Figura 23. Plasticidad del suelo Fuente: Autor

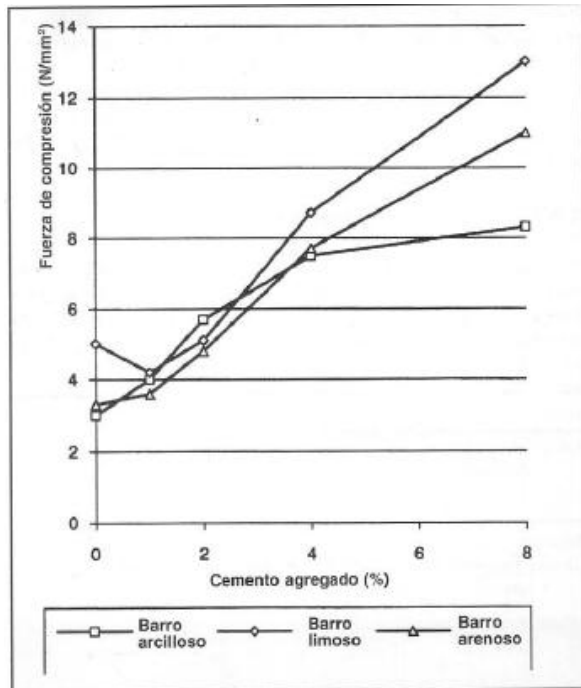


Figura 24. Cambios de resistencia a la compresión de suelos con adición de cemento. Fuente Minke Gernot 2005

Límite Líquido: 40.42%

Límite Plástico: 10.08

Como podemos ver en la Fig.24, el suelo utilizado tiene los porcentajes recomendados de gravillas y arenas gruesa pero le falta porcentaje de material fino que el recomendado por la tabla.

Como segundo paso se ubica el suelo en estudio en la carta de plasticidad, determinándose que cae fuera del área sombreada.

La NTC-5324 indica que para los materiales que no se inscriban en los rangos dados, pueden, a veces, dar resultados aceptables, pero se recomienda someterlos a ensayos que permitan verificar su conveniencia.

3.2 HUMEDAD DE COMPACTACIÓN DEL SUELO.

Para determinar la humedad óptima de compactación, se deposita en el laboratorio de la Universidad de Cuenca material de sitio con la finalidad de realizar una prueba de compactación Proctor Estándar.

Luego de los análisis se determina que el contenido óptimo de humedad del suelo a ser compactado es de **22%** con un peso unitario máximo del suelo seco de **1718 kg/m³**.

3.3 DOSIFICACION DE LA MEZCLA.

En este estudio se considera la estabilización del BTC mediante el uso de un porcentaje de cemento.

Gernot publica resultados de un estudio realizado con un suelo con 12% de arcilla, 74% limo y 14% de arena, en el cual la resistencia a la compresión decrete con la adición de

pequeñas cantidades de cemento, recuperando la resistencia original al ser adicionada con el 2%, adicionalmente presenta la Tabla en la cual se puede ver el estudio realizado para tres tipos de suelo, un arcilloso, un limoso y un arenoso, aquí podemos ver que luego del 4% de adición las curvas tienen ya una mejor definición. En base a esto se fija para el suelo en estudio un porcentaje de adición de cemento en un 7%. en virtud de que nuestro suelo no se enmarca con la carta de plasticidad recomendada.

3.4 EFECTO DEL CURADO SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Para determinar el efecto del curado sobre la resistencia a la compresión de los BTC, se fabrican 90 unidades con los siguientes proporciones:

Cemento : 1 Saco

Tierra : 14 parihuelas (0.33x0.33x0.33)

En primer lugar se determina la humedad inicial del suelo que para nuestro caso es de 12%.

Se mezcla manualmente el suelo con el cemento, de una manera similar a la preparación de los morteros de arena y cemento. En este punto y para lograr una correcta mezcla de los materiales es preferible que el suelo este con poca humedad, luego de mezclar el suelo con el cemento se procede con la adición del agua faltante.

Para la determinación de la humedad del suelo se utiliza una estufa para secar las muestras, una balanza con precisión de 2.0 gramos y la siguiente fórmula que la encontramos en cualquier libro de mecánica de suelos.



Figura 25. Compactadora y material preparado Fuente: Autor

CAPÍTULO 3.- Experimentación con BTC

$$H = \left(\frac{W_h - W_s}{W_s} \right) * 100$$

Wh= Peso humedo (kg)

Ws= Peso seco (kg)

Para esta primera fabricación de BTC se decide utilizar una humedad de compactación de 18.36 % valor inferior a la humedad óptima establecida en 22% con la finalidad de poder comparar resultados con muestras construidas con la huedad óptima.

Al día siguiente de la fabricación, se pesan y separan 3 unidades de BTC las mismas que son curadas de acuerdo a lo inficado en el numeral 2.7. Luego de esto también se separan 3 unidades las cuales son secadas mediante la acción directa del viento y sol.

Los Bloques de tierra compactada que están expuestos al sol y viento, empiezan a cambiar de color al segundo día empezando por las aristas; mientras que, los elementos curados se mantienen en color y peso.

El curado de los ladrillos se lo deja por 28 días, luego de lo cual se retira la lámina plástica y se los deja secar por 30 días hasta que alcancen su período de secado, así los ladrillos testigo como los curados tendrán las mismas condiciones de humedad para proceder con la determinación de la resistencia a la compresión.

Los ladrillos numerados 1-3-4 son ladrillos sin curar mientras que los numerados 8-9-10 han sido curados.



Figura 27. Pruebas de compresión axila de los BTC. Fuente: Autor

NUMERO	Fecha ROTURA	EDAD DIAS	PESO gr	LARGO cm	ANCHO cm	ALTO cm	AREA cm ²	PESO VOLUMETRI CO g/cm ³	CARGA DE ROTURA KN	Fatiga ROTURA Mpa
1	21/01/2014		5852	29,20	14,50	9,10	423	1,545	110,756	2,616
3	21/01/2014		5897	29,20	14,50	9,10	423	1,531	114,675	2,708
4	21/01/2014		5895	29,20	14,50	9,10	423	1,530	110,311	2,605
8	21/01/2014		5903	29,20	14,50	9,10	423	1,532	110,288	2,603
9	21/01/2014		5996	29,20	14,50	9,10	423	1,556	117,843	2,783
10	21/01/2014		6272	29,20	14,50	9,10	423	1,628	167,204	3,949

Figura 26. Resultados de resistencia a la compresión de BTC curados y sin curar. Fuente: Autor

De los resultados obtenidos podemos deducir que las resistencias a la compresión de los bloques curados como de los no curados, son prácticamente las mismas y están por el orden de los 26kg/cm² a excepción de bloque No.10 que obtiene una resistencia mayor al promedio, debido a que por alguna razón alcanzó mayor densidad de compactación, expresada en su mayor peso volumétrico seco.

Una posible explicación del efecto nulo del curado sobre la resistencia a la compresión de los BTC, puede ser debido a dos causas; la primera, la baja cantidad de cemento en la mezcla la misma que logra hidratarse con la humedad atrapada en el bloque; y la segunda, el período de secado del bloque que si bien superficialmente se seca, pierde lentamente su humedad y alcanza su equilibrio con el medio ambiente en aproximadamente 30 días.

3.5 DETERMINACION DEL PERIODO DE SECADO.

Para determinar el período de secado de los BTC se utiliza dos grupos de control, con diferentes humedades de compactación 18.36% y 23.5% a los cuales se registra la variación de su peso durante 35 días; los ladrillos fueron secados a la sombra y a humedad ambiental.

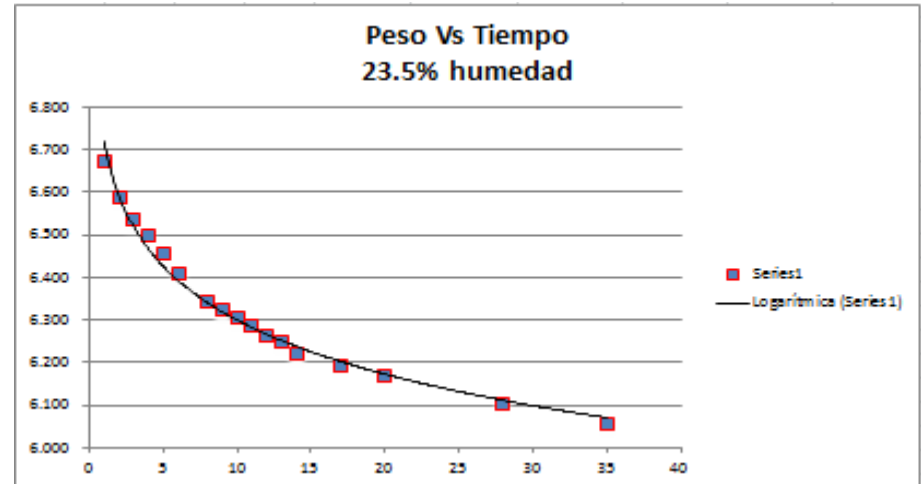


Figura 28. Curva de pérdida de peso Vs. Tiempo con humedad inicial de 23.5%
Fuente: Autor.

De las figuras 28 y 29 en las cuales se grafica la variación del peso con relación al número de días transcurridos podemos ver que los dos grupos de ladrillos tienen

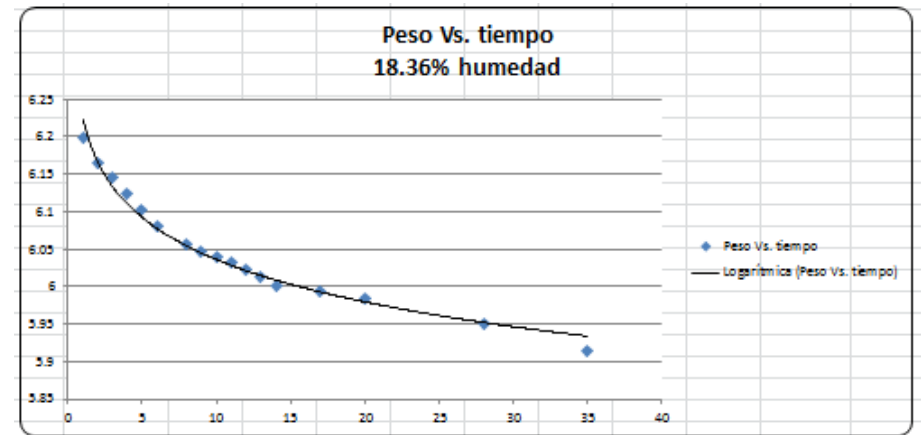


Figura 29. Curva de pérdida de peso Vs. Tiempo con humedad inicial de 18.36%.
Fuente: Autor

el mismo período de secado de 30 días, es decir para este caso la humedad de compactación no afectó al período de secado.

Si analizamos los datos, pero graficando el peso en gramos que pierden los ladrillos / día obtenemos la figura 30, se puede ver aquí que los ladrillos con mayor humedad de fabricación entregan diariamente mayor humedad al medioambiente, explicándose así el igual período de secado de los dos grupos de ladrillos.

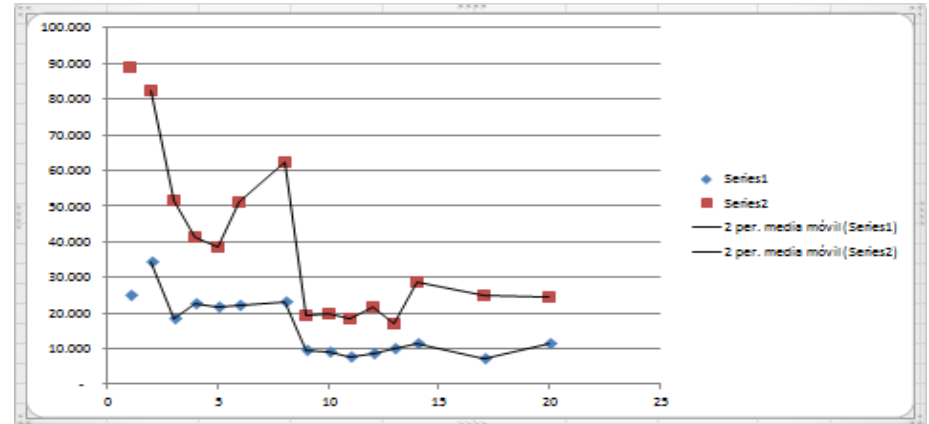


Figura 30. Período de secado de muestras con diferente humedad de compactación. Fuente: Autor

3.6 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ABSORCION. (Cb)

De la gráfica que se muestra en la figura 32 podemos determinar que gran parte de la absorción se da dentro de los primeros 2 minutos, en este tiempo el ladrillo absorbe cerca de 172 cc de agua, luego el porcentaje de absorción disminuye drásticamente.

Absorción	(gr)	absorción (gr)	Obs.
Tiempo (min)	6360		Peso inicial
1	6492	132	
2	6532	40	
3	6556	24	
4	6576	20	
5	6596	20	
6	6614	18	
9	6630	16	
10	6640	10	
		280 gr	
% de abs	4.4%		

Figura 31. Datos de prueba de absorción. Fuente: Autor

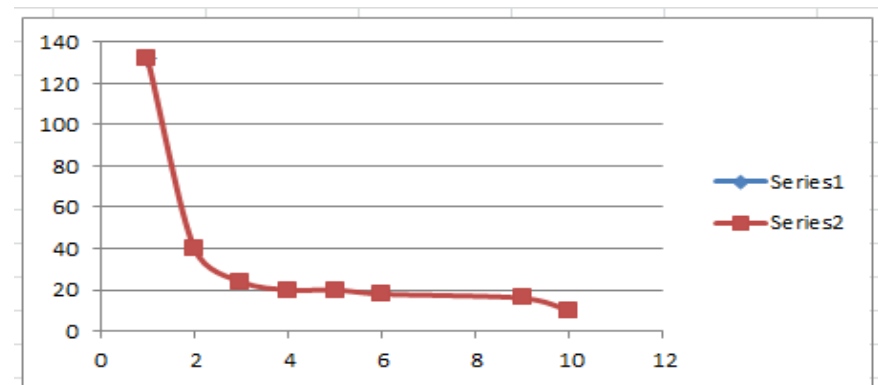


Figura 32. Curva de peso de agua absorbida (gr.) Vs. Tiempo (min) Fuente: Autor.

Al tratarse de un elemento que necesita hidratarse para no quitar agua al mortero de pega, pero al mismo tiempo al ser la aplicación directa del agua un factor determinante en la disminución de resistencia, se cree conveniente que el período de hidratación de la cara a pegarse no vaya más allá de 10 minutos ó 280cc de absorción. Los valores de absorción más allá de los 10 minutos pueden ser controlados adicionando estos volúmenes de agua al diseño del mortero.

3.7 DISEÑO DE MORTEROS.

Los morteros de pega serán de dos tipos, morteros de arena - cemento y morteros de suelo-cemento en diferentes proporciones.

Morteros de arena – cemento:

Se diseñó de acuerdo al numeral 2.10 para 3 tipos de morteros de las siguientes características:

MORTERO ARENA –CEMENTO 1

1. Resistencia R'm = 132 Kg/cm²
2. Fluidéz (%) = 100-120
3. Coef. de variación (%) = 11
4. Relación a/c = 0.77
5. Modulo finura arena = 2.84
6. Humedad nat. Arena (%) = 9
7. Absorsión BTC (%) = 4.5

DOSIFICACION OBTENIDA: (1:2.6)

- Agua = 363.96 kg
- Cemento = 472.67 Kg
- Arena = 1230.54 kg

MORTERO ARENA-CEMENTO 2

1. Resistencia R'm = 50 Kg/cm²
2. Fluidéz (%) = 100-120
3. Coef. de variación (%) = 11
4. Relación a/c = 0.9
5. Modulo finura arena = 2.84
6. Humedad nat. Arena (%) = 9

7. Absorsión BTC(%) =4.5

DOSIFICACION OFTENIDA: (1:4)

- Agua = 320.98 kg
- Cemento = 356.65 Kg
- Arena =1436.19 kg

MORTERO ARENA-CEMENTO 3

- 1. Resistencia R'm = 20 Kg/cm²**
2. Fluidéz (%) = 100-120
3. Coef. de variación (%) =11
4. Relación a/c =1.25
5. Modulo finura arena = 2.84
6. Humedad nat. Arena (%) =9
7. Absorsión BTC(%) =4.5

DOSIFICACION OFTENIDA: (1:7)

- Agua = 279.06 kg
- Cemento = 223.25 Kg
- Arena =1653.53 kg

Para el caso de los morteros Suelo-cemento no se tiene un método conocido por lo que se diseña el mortero usando dosificaciones en volúmen similares a las usadas para la confección de los BTC determinandose los sigientes:

MORTERO 1: Suelo + 5% de cemento

MORTERO 2: Suelo + 10% de cemento

MORTERO 3: Suelo + 20% de cemento.

3.8 FABRICACION DE MURETES.

Los ladrillos BTC usados tienen en promedio las siguientes medidas 14x29x9.3cm por lo que definimos el murete de prueba de la siguiente manera:

- Espesor del murete = 14cm
- Longitud del murete = 29cm
- Espesor del mortero en 1.0 cm
- 3 hiladas tendríamos una altura de 30cm.
- relación alto/ancho sería de 2.0 con una corrección de 1.0 según tabla de fig 22

Para la elaboración de muretes se fabricó 90 ladrillos, mezclando la tierra y cemento en una proporción volumétrica de 14 a 1, (7% de cemento). La humedad se la determinó en 23.5 % (1.5% mayor a la humedad óptima de compactación).



Figura 33. Fabricación de muretes, muretes curados y sin curar. Fuente: Autor



Figura 34. Pesado de muretes. Fuente: Autor

Luego del período de secado se llevó al laboratorio 3 ladrillos, los mismos que dieron como promedio una resistencia a la compresión de 48.9 kg/cm², con un peso volumétrico de 1658 kg/m³.

La resistencia alcanzada es satisfactoria y sobrepasa los 30 kg/cm² exigido por la NEC para los ladrillos cocidos.

Según la NTC5324 los BTC que se logró en este estudio supera la resistencia exigida para el tipo BSC40, y prácticamente se alcanza la máxima resistencia exigida por la norma española UNE 41410.

Como dato adicional para efectos de comparación se analiza los resultados de varios bloques comerciales de hormigón de 6.5x19x39 ensayados en el laboratorio de la Espol. (Quiñonez, Arámbulo, & Valdivieso, 2011).



Figura 35. Bloques ensayados a compresión axial Fuente: (Quiñonez, Arámbulo, & Valdivieso, 2011).

Bloque #	Carga Lb	Carga Kg	Resistencia Kg/cm²	Resistencia Mpa.
1	10.000	4535,9	22,71	2.23
2	20.000	9071,8	45,42	4.45
3	15.400	6985,3	34,97	3.43
4	16.000	7257,4	36,33	3.56
5	14.200	6441,0	32,25	3.16
	Promedio		34,33	3.36

Figura 36. Resultados de ensayos a compresión de bloques. Fuente: (Quiñonez, Arámbulo, & Valdivieso, 2011).

De igual manera se han ensayado bloques de arcilla de 7x20x41.



Figura 37. Bloques de arcilla 7x20x41 Fuente: (Quiñonez, Arámbulo, & Valdivieso, 2011)

Resultado de los ensayos

Bloque #	Carga Lb	Carga Kg	Resistencia Kg/cm²	Resistencia Mpa.
1	16.700	7574,9	37,92	3,71
2	16.000	7257,4	36,34	3,56
3	12.000	5443,1	27,25	2,67
4	13.000	5896,7	29,52	2,89
5	14.000	6350,3	31,79	3,11
	Promedio		32,56	3,19

Figura 38. Resultados de ensayos a compresión axial de Bloques de arcilla 7x20x41. Fuente: (Quiñonez, Arámbulo, & Valdivieso, 2011).

De los resultados antes indicados queda comprobado que el BTC alcanza resistencias iguales o superiores a productos que actualmente se encuentran en el mercado.

Regresando al análisis de resultados de los BTC hay que notar la diferencia de resistencias entre los BTC fabricados con una humedad de 18.36% y los BTC que fueron trabajados con 23.5%

HUMEDAD 18.36 %

- Peso volumétrico del BTC = 1530 kg/m³
- Resistencia a la compresión = 26 kg/cm²

HUMEDAD 23.5 %

- Peso volumétrico del BTC = 1658 kg/m³
- Resistencia a la compresión = 48.9 kg/cm²

El peso volumétrico alcanzado con la humedad óptima es de 1658 kg/m³, un tanto inferior al determinado en laboratorio de 1718 kg/m³.

En este punto cabe notar que a pesar de que el suelo utilizado no se enmarcó en las recomendaciones de granulometría y plasticidad de la NTC, sin embargo las resistencias a la compresión presentan valores que cumplen con todos los códigos antes mencionados.

NOMENCLATURA	NUMERO	Fecha ROTURA	Fecha CONFECCIÓN	EDAD DIAS	PESO gr	LARGO cm	ANCHO cm	ALTO cm	AREA cm ²	PESO VOLUMETRI CO g/cm ³	CARGA DE ROTURA KN	Fatiga ROTURA kg/cm ²
LADRILLO CRUDO	1	08/09/2014	01/09/2014	7	6509	29,30	14,60	9,20	428	1,654	212,898	50,749
LADRILLO CRUDO	2	08/09/2014	01/09/2014	7	6456	29,20	14,50	9,30	423	1,640	180,656	43,509
LADRILLO CRUDO	3	08/09/2014	01/09/2014	7	6576	29,30	14,50	9,20	425	1,682	214,350	51,448

Figura 39. Resultados de resistencia a la compresión de BTC con humedad óptima de compactación. Fuente: Autor.

3.9 ENSAYOS A LA COMPRESION DE MURETES

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO R'm= 135 kg/cm2

Los 3 muretes ensayados utilizaron un mortero de pega de cemento-arena (1:2.6) y presentaron resistencias a la compresión de $f'm = 18.07 \text{ kg/cm}^2$, es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 37% de la resistencia del BTC ensayado individualmente.

NOMENCLATURA	NUMERO	Fecha CONFECCIÓN	Fecha ROTURA	EDAD DIAS	PESO gr	LARGO cm	ANCHO cm	ALTO cm	AREA cm2	PESO VOLUMETRI CO g/cm3	CARGA DE ROTURA KN	Fatiga ROTURA kg/cm2
MURETE CON MORTERO 1-3	1		11/09/2014		21822	29,30	14,50	30,40	425	1,690	75,779	18,188
MURETE CON MORTERO 1-3	2		11/09/2014		22020	29,40	14,30	30,50	420	1,717	63,293	15,352
MURETE CON MORTERO 1-3	3		11/09/2014		21985	29,20	14,40	30,09	420	1,738	85,373	20,704

Figura 40. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero de resistencia $R'=135 \text{ kg/cm}^2$. Fuente: Autor.

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO R'm= 50 kg/cm2

Los 3 muretes ensayados utilizaron un mortero de pega de cemento-arena (1: 5)

Para estos 3 muretes la resistencia a la a compresión fue de $f'm = 13.6 \text{ kg/cm}^2$, es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 28% de la resistncia del BTC ensayado individualmente.

MURETE CON MORTERO 1-5	1	16/08/2014	15/09/2014	30	21522	29,30	14,50	30,00	425	1,689	57,731	13,856
MURETE CON MORTERO 1-5	2	16/08/2014	15/09/2014	30	21046	29,30	14,50	29,80	425	1,662	56,034	13,449
MURETE CON MORTERO 1-5	3	16/08/2014	15/09/2014	30	21342	29,30	14,50	29,60	425	1,697	40,051	9,613

Figura 41. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero de resistencia $R'=50 \text{ kg/cm}^2$. Fuente: Autor

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO R'm= 20 kg/cm²

Los 3 muretes ensayados utilizaron un mortero de pega de cemento-arena (1: 7)

Para estos 3 muretes la resistencia a la a compresión fue de f'm= 9.06 kg/cm², es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 19% de la resistncia del BTC ensayado individualmente.

MURETE CON MORTERO 1-7	1	16/08/2014	15/09/2014	30	21608	29,30	14,30	29,80	419	1,731	52,531	12,785
MURETE CON MORTERO 1-7	2	16/08/2014	15/09/2014	30	21014	29,30	14,40	29,90	422	1,666	41,574	10,048
MURETE CON MORTERO 1-7	3	16/08/2014	15/09/2014	30	21608	29,30	14,40	30,05	422	1,704	43,437	10,498

Figura 42. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero de resistencia R'=20 kg/cm². Fuente: Autor

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO Suelo + 20% cemento.

Para estos 3 muretes la resistencia a la a compresión fue de f'm= 13.8 kg/cm², es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 28.4% de la resistncia del BTC ensayado individualmente.

MURETE CON MORTERO 1-20	1	19/08/2014	16/09/2014	28	21731	29,30	14,50	31,00	425	1,650	47,831	11,490
MURETE CON MORTERO 1-20	2	19/08/2014	16/09/2014	28	21784	29,30	14,40	30,80	422	1,676	65,072	15,727
MURETE CON MORTERO 1-20	3	19/08/2014	16/09/2014	28	21185	29,30	14,50	30,00	425	1,662	59,844	14,384

Figura 43. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero suelo+20%cemento. Fuente: Autor

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO Suelo + 10% cemento.

Para estos 3 muretes la resistencia a la a compresión fue de f'm= 13.1 kg/cm², es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 26.9% de la resistncia del BTC ensayado individualmente.

MURETE CON MORTERO 1-10	1	16/08/2014	15/09/2014	30	20970	29,30	14,30	30,01	419	1,668	60,984	14,842
MURETE CON MORTERO 1-10	2	16/08/2014	15/09/2014	30	21263	29,30	14,40	30,40	422	1,658	46,301	11,190
MURETE CON MORTERO 1-10	3	16/08/2014	15/09/2014	30	21325	29,30	14,30	30,60	419	1,663	55,089	13,407

Figura 44. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero suelo+10% cemento. Fuente: Autor

ENSAYOS A LA COMRESION DE MURETES CON MORTERO Suelo + 5% cemento.

Para estos 3 muretes la resistencia a la a compresión fue de $f'm = 9.42 \text{ kg/cm}^2$, es decir que la resitencia del murete es aproximadamente un 19.4% de la resistncia del BTC ensayado individualmente.

MURETE 5%	1	19/08/2014	16/09/2014	28	21176	29,20	14,60	30,70	426	1,618	34,455	8,241
MURETE 5%	2	19/08/2014	16/09/2014	28	21320	29,30	14,50	30,50	425	1,645	37,681	9,044
MURETE 5%	3	19/08/2014	16/09/2014	28	21402	29,40	14,50	30,40	426	1,651	45,940	10,989

Figura 46. Resultados de ensayos a compresión axial de muretes con mortero suelo+5% cemento. Fuente: Autor

Es interesante observar la forma de falla a la compresión del ladrillo y del murete de prueba.

El BTC fracasa a la compresión perdiendo gran parte de sus secciones laterales, es decir la parte central del elemento se mantiene mientras que el material de sus caras se separa del boque dejando una sección cóncava cuya mayor profundidad se presenta hacia el centro del bloque Ver fig.47 En el sentido corto, la sección que se separa el ladrillo representa aproximadamente 1/5 de la sección total mientras que en el sentido largo es menor.



Figura 48. Inicio de fisuración en murete ensayado. Fuente: Autor.



Figura 47. Típica falla a compresión del BTC.

Para el caso de los muretes la falla a compresión se manifiesta empezando por la aparición de pequeñas fisuras hacia el centro del murete, en el ladrillo No. 43 y estas se propagan hacia arriba y abajo atravesando el mortero de pega.

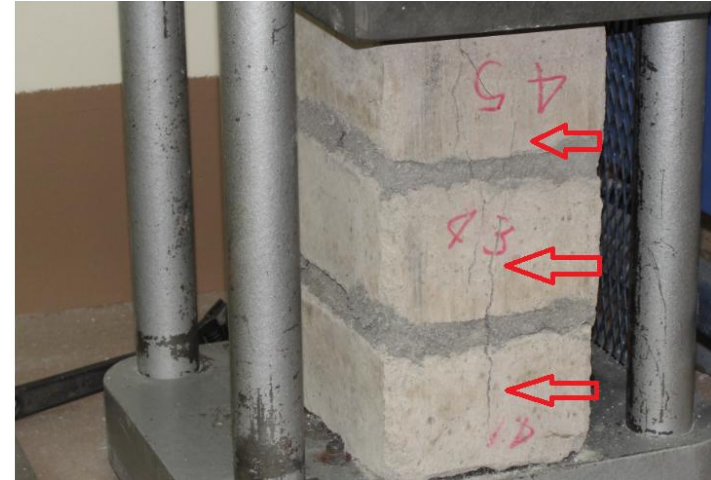


Figura 49. Avance de fisuración en murete ensayado. Fuente: Autor.

Conforme continua la prueba de carga, las fisuras se hacen mas evidentes y alcanzan a los ladrillos superior e inferior, formandoce fisuras secundarias pero siempre en sentido vertical hasta la falla del elemento.

Una vez que el murete a sido ensayado, se puede apreciar que practicamente se encuentra dividido verticalmente en dos partes.

3.10 EVALUACION DE LAS RELACIONES EXISTENTES ENTRE MORTERO DE PEGA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MURETE

Para el caso de los morteros de arena-cemento Y también para los de suelo-cemento los resultados indican que se obtiene mejores resistencias $f'm$ mientras mayor sea la resistencia del mortero de pega $R'm$.

Tomando en cuenta que los BTC alcanzaron una resistencia $f'_{cu} = 48.9 \text{ kg/cm}^2$ y analizando los resultados con los morteros de suelo-cemento podemos ver que usando un mortero 1:2.6 con una resistencia de 135 kg/cm^2 apenas se alcanza a obtener un 37% de la resistencia del BTC; este porcentaje baja conforme se utiliza proporciones mas pobres como 1:5 y 1:7.

Para el caso del mortero 1:5, con una $R'm = 49.14 \text{ kg/cm}^2$, es decir, el mortero tiene una resistencia muy cercana a la resistencia del BTC, sin embargo la prueba con el murete da resultados que alcanzan el 27.8%.

Resistencia a la compresión del BTC (f'_{cu})		48.9 kg/cm^2	
MORTEROS CEMENTO-ARENA			
PROPORCION	R'm	f'm	f'm/f'cu
1:2.6	135	18.07	37.0%
1:5	49.14	13.6	27.8%
1:7	11.25	9.06	18.5%

Figura 50. Cuadro comparativo de morteros, resistencia del murete y resistencia del BTC. Fuente: Autor.

Para el caso de los morteros suelo-cemento podemos ver que la máxima resistencia alcanzada ocurre cuando se utiliza un mortero de suelo con un 20% de cemento, obteniéndose un 28.2% de la resistencia f'_{cu} .

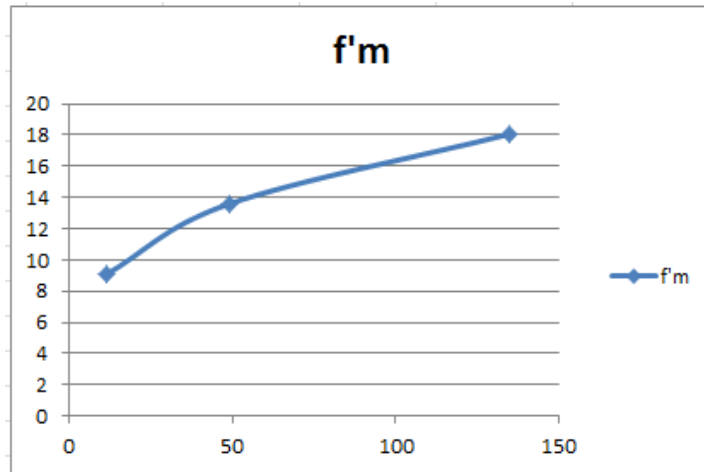


Figura 52. Curva de resistencia a la compresión del murete vs. Resistencia del mortero arena-cemento. Fuente: Autor

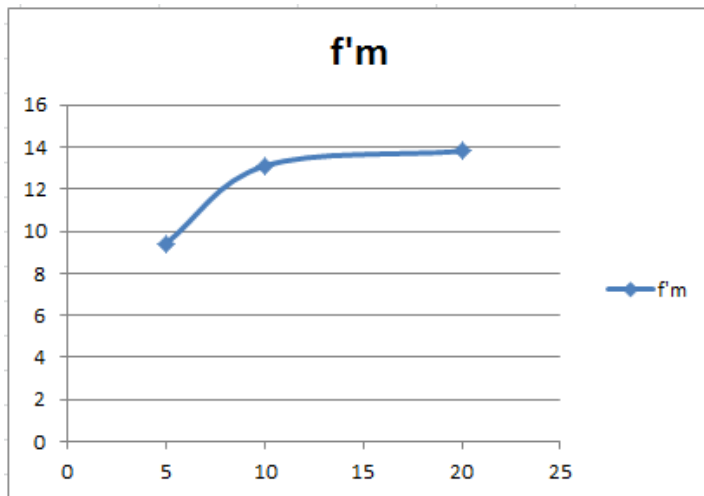


Figura 53. Curva de resistencia a la compresión del murete Vs. Resistencia del mortero suelo-cemento. Fuente: Autor.

Cuando se usa un mortero con una dosificación de cemento del 10% , los resultados no cambian la tendencia dando valores del 26.8% y siguen a la baja hasta llegar a un 19.3% producto de utilizar un mortero suelo y 5% de cemento.

MORTEROS CEMENTO-SUELO		
% CEMENTO	f'm	f'm/f'cu
20	13.8	28.2%
10	13.1	26.8%
5	9.42	19.3%

Figura 51. Cuadro comparativo de morteros, resistencia del murete y resistencia del BTC. Fuente: Autor.

En la Figura 52. se relaciona la resistencia del **mortero cemento-arena** con la resistencia a la compresión del murete, aquí se observa que la pendiente de la curva es positiva.

Para el caso de la curva de la Figura 53 , **mortero suelo-cemento**, se puede ver que se empieza a definir una asíntota horizontal, que empieza a marcarse cuando el mortero de pega se encuentra al 10%

Lo manifestado para mamposterías de ladrillo cocido con relación a que "tampoco deben prepararse morteros muy ricos para usos normales, y que pueden ser demasiado resistentes y con alta retracción al secado, y por ello susceptibles al agrietamiento. (Guzmán, 2001); no es aplicable a los BTC según los datos obtenidos. También desvirtúan la creencia de que para obtener mejores resultados el mortero tenía que ser de resistencia semejantes al BTC.

3.11 EVALUACION ECONÓMICA DEL BTC VS. LADRILLO COCIDO.

Es común ver que en las viviendas unifamiliares se usa en la construcción de las mamposterías de la planta baja el ladrillo panelón y, por otro lado, tratando de reducir peso y mas por instinto que por un cálculo estructural, se utiliza bloque de pomez para la construcción de paredes del primer piso alto.

Desde el punto de vista arquitectónico el diseñador limita el espesor de las columnas al espesor de las paredes, razón por la cual el sistema estructural sismoresistente que más se ajusta a estas condiciones es el de la MAMPOSTERIA CONFINADA o MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL, las paredes tienen que ser paredes de carga y por ende los ladrillos utilizados en estas deben cumplir con lo estipulado en los códigos respectivos y lo que se resume en el numeral 2.1

A continuación se describe los tipos de ladrillos más utilizados en nuestro medio.

Ladrillo panelón, ladrillo maciso, de 13x24x7cm muy similar al BTC pero de menores medidas . Para formar un m² de pared y con el espesor de 1cm de mortero necesitaríamos 44.6.



Figura 54. Construcción de vivienda típica, con ladrillo panelón en planta baja y bloque pómez en planta alta.



Figura 55. Ladrillo panelón

Ladrillo Tochano, de dimensiones mayores que el anterior 19x37x9cm presenta perforaciones horizontales, muy utilizado para la construcción de paredes que dividen ambientes, no apto para paredes de carga.



Figura 56. Ladrillo tochano

Por sus medidas necesitamos apenas 13.1 unidades por m² de pared.

Ladrillo esquinero 3 huecos y ladrillo esquinero 2 huecos; son ladrillos utilizados para la construcción de paredes de ladrillo visto, de 13x29x9 cm la única diferencia es el número de huecos ya que el precio es el mismo para los dos.

Para este tipo de ladrillos necesitamos 33.3 unidades.

Bloque de hormigón 10cm Formados por la mezcla de arena y cemento, es un bloque de que pesa aproximadamente unos 9.0 kg/u de medidas 40x20x10.

Se necesita 11.6 unidades para un m².



Figura 57. Bloque hormigón

Bloque de hormigón 15cm Formados por la mezcla de arena y cemento, es un bloque de que pesa aproximadamente unos 15 kg/u de medidas 40x20x15.

Se necesita 11.6 unidades para un m².

Bloque de Pómez 15cm Formados por la mezcla de cemento, y piedra pomez triturada es un bloque liviano utilizado para paredes divisorias y alivianamiento en losas nervadas, es un bloque no estructural pesa aproximadamente unos 7 kg/u de medidas 40x20x15.

Se necesita 11.6 unidades para un m².

Del grupo antes descrito de unidades de mampostería y según el numeral 2.1, el ladrillo tochano y el bloque de pómez no pueden ser considerados para la construcción de paredes de carga, razón por la cual en esta evaluación económica no son objeto de comparación con los BTC.



Figura 58. Atípica forma de transporte de ladrillo.
Fuente: El mundo según Kassiopea



Figura 59. Descarga de ladrillo Fuente: Andes Fértiles

COSTO DE FABRICACION DEL LADRILLO.

Para el caso de los diferentes ladrillos o unidades de mampostería que se ofrece en el mercado, el precio final contiene ya todos los costos de materiales, mano de obra, quemado y utilidad del productor o comerciante, es por ello que solo basta con cotizar el producto deseado.

COSTO DE TRANSPORTE A LA OBRA.

Por lo general, el productor del ladrillo incluye en el precio final el rubro de transporte siempre y cuando se programe con tiempo para que una vez retirado el ladrillo de los hornos este sea directamente cargado y transportado a la obra. Si la compra se la realiza en una de las bodegas o sitios de exhibición, el ladrillo tiene que ser nuevamente cargado y transportado, por lo que representa un costo extra dependiendo del lugar de destino.

COSTO DE DESCARGADO EN LA OBRA.

Este es un costo que por lo general no es valorado, cuando el camión de ladrillos llega a la obra la descarga corre por cuenta del cliente, significa practicamente la paralización de las actividades de construcción para destinar el personal para la descarga.

COSTO DE FABRICACION DEL BTC.

El criterio fundamental en la utilización de los BTC es la eliminación del rubro transporte debido a que se plantea la utilización del suelo existente en sitio, también esta enfocado a la eliminación del costo económico y ecológico de quemar combustibles como es el caso de la producción del ladrillo cocido, y finalmente se toma rendimientos de un proceso de fabricación tipo artesanal, utilizando únicamente una compactadora manual de fácil fabricación y la fuerza humana.

Desde este punto de vista e decir que en la fabricación de los BTC intervienen los siguientes elementos:

- Suelo
- Cemento
- Mano de obra
- Agua

Costo del suelo \$0.0

Costo del cemento \$ 7.18 el saco

Mano de obra no calificada . \$19 el día.

Rendimiento de dos obreros por jornada de 8 horas = 600 unidades.

En este estudio se ha fabricando los BTC con el 7% de cemento se obtiene en promedio 90 ladrillos por saco, con estos datos se elabora el siguiente cuadro.

	Costo saco	Rendimiento	Costo/u
Cemento	7.18	90	0.080
DESCRIPCION	Jornal/día	Rendimiento	Costo/u
Mano obra	38	600	0.063
COSTO TOTAL=			0.143

Figura 60. Costos en la fabricación del BTC. Fuente Autor

Es decir el costo de fabricación de un BTC es de \$ 0.143 dólares/ unidad

Pero adicional al costo de fabricación es necesario incluir en la comparación los respectivos rendimientos del material y de la mano de obra en la colocación o construcción de la pared misma, para ello se presenta el siguiente cuadro:

COSTO DE MAMPOSTERIA					
Tipo de ladrillo	Medidas	Costo /u	No. ladrillos por m2	Costo/m2 solo material	
Panelón	13x27x7	0.21	44.6	9.366	97%
Esquinero 3huecos	13x29x9	0.24	33.3	7.992	68%
Esquinero 2 huecos	13x29x9	0.24	33.3	7.992	68%
Bloque H 10cm	40x20x10	0.48	11.6	5.568	17%
Bloque H 15cm	40x20x15	0.58	11.6	6.728	41%
BTC	14x29x9	0.143	33.3	4.7619	

Figura 61. Costo del ladrillo por m2 de pared. Fuente Autor

Comparando los diferentes tipos de ladrillo se puede ver que el costo de un metro cuadrado de mampostería de BTC es el más económico. Así el ladrillo panelón es un 97% mas costoso, los ladrillos llamados esquineros están con un 68%, seguidos del bloque de hormigón de 15cm con un 41% y finalmente el bloque de hormigón de 10cm con un 17%.

Analizando el rendimiento de la mano de obra para la construcción del muro tenemos el siguiente cuadro.

COSTO DE MAMPOSTERIA				
		Rendimiento/ día		
Tipo de ladrillo	Medidas	Ladrillos	m2	mano obra/m2
Panelón	13x27x7	400	9	2.67
Esquinero 3huecos	13x29x9	400	12	2
Esquinero 2 huecos	13x29x9	400	12	2
Bloque H 10cm	40x20x10	150	12.9	1.86
Bloque H 15cm	40x20x15	150	12.9	1.86
BTC	14x29x9	400	12	2

Figura 62. Costo de colocación de diferentes ladrillos. Fuente Autor

Existe aquí una diferencia entre el rendimiento en la colocación de ladrillos y bloques debido a la geometría y peso de las piezas. En este caso la colocación de bloques es un 7% más económica que los BTC, y la colocación de ladrillo panelón es un 34% más costosa comparada con los BTC.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES

TRABAJO REALIZADO

Durante el desarrollo de esta tesis se han realizado los siguientes trabajos:

- Revisión bibliográfica de libros, publicaciones científicas, normativas relacionadas con la construcción y comportamiento de Bloques de tierra compactada.
- Determinación de Granulometrías y clasificación del suelo con el cual se elabora los BTC.
- Determinación de humedad óptima de compactación mediante una prueba Proctor estandar.
- Fabricación de Ladrillos de tierra compactada estabilizados con cemento y usando diferentes niveles de humedad para verificar su efecto.
- Pruebas realizadas con la finalidad de determinar el efecto del curado en los BTC.
- Determinación experimental de la resistencia a la compresión axial de diferentes muestras de BTC.
- Pruebas realizadas para establecer el tiempo de secado de los ladrillos de tierra compactada.
- Pruebas para determinar el porcentaje de absorción de agua del BTC con la finalidad de diseñar el mortero de pega.
- Determinación del módulo de finura de la arena ha ser utilizada en las dosificaciones de morteros de pega para los muretes.
- Revisión bibliográfica para determinar un método de diseño por resistencia para el diseño de los morteros de pega arena-cemento con los cuales se construyen los muretes.

- Construcción de 18 muretes de prueba con juntas de 1cm.
- Curado de muretes con plástico adhesivo para proteger el mortero de pega, para que luego del tiempo normado para ello proceder a las pruebas de resistencia a la compresión axial de los diferentes muretes construidos.
- Determinación de los ladrillos más usados en nuestro medio y su costo de venta y colocación.

CONCLUSIONES.

A continuación se recogen de los capítulos anteriores las conclusiones que se han considerado más importantes para el objetivo de esta tesis.

- La elaboración de BTC es relativamente sencilla y necesita de personal con un mínimo de capacitación.
- Los suelos aptos para la elaboración de BTC están enmarcados en las tablas de granulometría y de plasticidad de las figuras 7 y 8. Valores que están recomendadas por los códigos Frances, Español y Colombiano, mas no limitan la utilización de otros tipos de suelos siempre y cuando se realicen pruebas.
- Los resultados indican que al momento de la fabricación de los BTC la humedad del material ha ser compactado si es un factor determinante para lograr una mayor densidad y resistencia a la compresión de los BTC.
- Manteniendo constante la presión de compactación, las mejores resistencias a la compresión se dan cuando se trabaja con valores cercanos a la humedad óptima de compactación.
- El período de secado de nuestros BTC se encuentra alrededor de los 30 días.

- El curado de los BTC, con relación a las muestras sin curar, no tubo efecto aparente sobre la resistencia a la compresión.
- En las pruebas de resistencia a la compresión los BTC alcanzaron valores cercanos a los 5.0 Mpa, cumpliendo con normativas internacionales y superando valores exigidos por la Norma Ecuatoriana para ladrillos cocidos.
- Los resultados de las pruebas marcan la siguiente tendencia, *mientras más resistente el mortero de pega mayor será la resistencia a la compresión axial del murete.*
- La resistencia del murete es siempre menor que la resistencia del BTC.
- Con un mortero cemento-arena 1:7 ($F'm = 50\text{kg/cm}^2$) se puede aprovechar apenas el 18 % de la resistencia del BTC; en cambio al utilizar un mortero 1:2,6 ($R'm = 132\text{kg/cm}^2$) se alcanza una resistencia del 37% del BTC. Estas grandes variaciones nos alerta sobre la importancia del uso de un mortero de pega de resistencia no inferior a los 150kg/cm^2 .
- Para los morteros de suelo-cemento (figura 53) la curva graficada, al definir una asíntota horizontal en el valor que representa el 28% de la resistencia del BTC, podría indicar que con este tipo de mortero se está alcanzando un valor máximo de resistencia, sin embargo es necesario estudios adicionales para confirmar estos valores.

- La fig. 62 con el resumen de costos presenta al BTC como la opción más económica sobre un grupo de ladrillos más usados en la zona, siendo un 97% más económico que su similar el ladrillo panelón.

4.1 CRITERIOS PARA UNA NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN.

España, Francia y Colombia prácticamente comparten la misma norma; sin embargo, muy poco se trata sobre la calidad del mortero de pega, es por ello que como punto de partida sería interesante que en nuestro país se adopte una de estas normas y se las vaya perfeccionando de acuerdo a nuestra realidad y a los resultados de esta y futuras investigaciones.

Bibliografía

- Ahmed H. Bushlaibi, A. M. (2002). Eficiencia del Curado en Hormigons de Alta Resistencia parcialmente expuestos a clima cálido. . *Cement and Concrete Research*.
- Castillo, T. F. (2003). *Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería* . Perú: San Marcos.
- Crespo, C. V. (1994). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: LIMUSA,S.A.
- Fernandez, M. C. (2012). Retrieved 10 23, 2014, from http://oa.upm.es/10672/3/TESIS_MASTER_MIGUEL_CARCEDO_FERNANDEZ.pdf
- Gabriel, O. G., Luis, I., & Alfonso, E. O. (2005). *Diseño estructural de casas habitación*. Mexico: McGraw-Hill.
- GALÍNDEZ, F. (2009). BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA SIN ADICIÓN DE CEMENTO (BTC). *SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE*, 62-73.
- Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Colombia: Bhandar Editores Ltda.
- ICONTEC. (2004). *Norma Técnica Colombiana NTC-5324*. Colombia: ICONTEC.
- J. Cid, F. R. (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo*. España: Documento online.
- Karen, T. A. (2011). Bloques de tierra comprimida como material constuctivo. *Revista Facultad de Ingeniería,UPTC, Julio-Diciembre Vol.20*, 55-68.
- Medina, K. T. (2011). Bloquede tierra comprimida comomaterial constructivo. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC,, 55-68*.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra*. Alemania: Fin de Siglo.
- NEC, C. E. (2011). *VIVIENDA DE HASTA 2 PISOS CON LUCES DE HASTA 5.0 m*. Quito: Documento online.
- Norma INEN, 5. (2010). Retrieved julio 19, 2014, from NORMAS INEN: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2518.2010.pdf>

CAPÍTULO 4.- Conclusiones

- Quiñonez, R. G., Arámbulo, R. F., & Valdivieso, A. R. (2011). Elaboración y uso de bloques de hormigón y bloques de arcilla en mampostería. *ESPOL, Tesis de grado* .
- Roberto E. Lou, M. (2010). *Manual para la construcción de la CETA-RAM II*. Guatemala: Centro de Experimentación en Tecnología Apropriada.
- S.M. Monteagudo, M. J.-A. (2011). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE ULTRASONIDOS DEL EFECTO DEL ESPESOR DE LA. *Anales de Mecánica de la Fractura*, 149-154.

ANEXOS



Fundada en 1867
UNIVERSIDAD DE CUENCA

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN					
FECHA: 22/11/2013			CÓDIGO: L.S.-A008		
GRANULOMETRÍA					
Tamiz	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Que Pasa	% Especificado
3"					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	
Nº4	60,32	60,32	11,90	88,10	
PASA Nº4					
Nº8					
Nº10	31,16	91,48	18,05	81,95	
Nº40	186,34	277,82	54,83	45,17	
Nº50					
Nº100	131,29	409,11	80,74	19,26	
Nº200	15,40	424,51	83,78	16,22	
ASA Nº200	0,00	424,51			
TOTAL	424,51				


HUMEDAD NATURAL						
Nº Tarro	Nº Golpes	Peso Húmedo	Peso Seco	Peso Tarro	% De Humedad	% Promedio
160	----	63,33	56,51	11,09	15,02	15,26
86	----	66,46	59,04	11,17	15,50	
LÍMITE LÍQUIDO						
65	40	20,65	17,97	10,86	37,69	40,42
56	32	21,68	18,57	10,62	39,12	
39	22	19,19	16,56	10,21	41,42	
99	14	26,48	21,61	10,38	43,37	
LÍMITE PLÁSTICO						
15	----	12,72	12,37	11,21	30,17	30,34
105	----	11,03	10,77	9,91	30,23	
104	----	12,1	11,8	10,82	30,61	

CUARTEO			
P. ANTES ENSAYO =	gr	P. HUM =	584,00
P. DESP. ENSAYO =	gr	P. SECO =	506,7
		P. DESP. =	424,53


CLASIFICACIÓN			
SUCS	SM	HUMEDAD NATURAL:	15,26 %
		LÍMITE LÍQUIDO:	40,42 %
		ÍNDICE PLÁSTICO:	10,08
		ÍNDICE DE GRUPO:	

Observaciones: *Muestras depositadas en el Laboratorio por el Ing. Alex Pinos; CI:0301065215

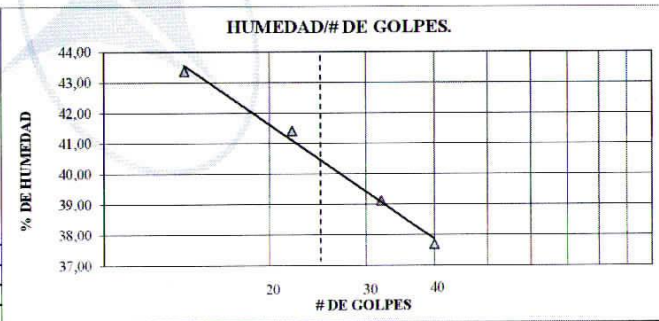
*El Laboratorio de Suelos de la Universidad de Cuenca se responsabiliza por las muestras, nomenclatura, procedencia, información proporcionada por el Ing. Alex Pinos; CI:0301065215



Ing. Msc. Ivan Canizares B.
Laboratorio de Suelos
Jefe del Laboratorio de Suelos



.....Laboratorista.....



Anexo 1. Ensayo de clasificación del suelo

LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES FACULTAD DE INGENIERÍA
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

Fundada en 1867
UNIVERSIDAD DE CUENCA

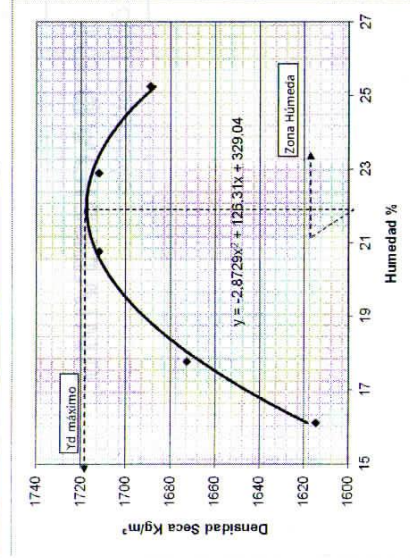
COMPACTACIÓN PROCTOR ESTÁNDAR

FECHA: 22/11/2013 CÓDIGO: L.S. - A008

DATOS DEL MOLDE		CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
Ensayo:	Tipo A	P Moli=	4449	gr		
Molde:		P Manti=	2500	gr		
Diametro:	9,8	Hc=	30,5	cm		
Longitud:	11,57	# de Capas:	3	capas		
Área:	75,43	golpes/cap:	25	golpes		
Volumen:	872,72	Material Pasante:	4	tamiz		

EJECUCIÓN DEL ENSAYO		CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
DATOS PARA LA CURVA:		CONTENIDOS DE HUMEDAD:				
MUESTRA #:		1	2	3	4	5
W. MOL.-SUE. HUM. (gr)	6085	6168	6253	6285	6295	
W. SUELO HUM. (gr)	1636	1719	1804	1836	1846	
HUMEDAD PROM. (%)	16,11	17,76	20,76	22,89	25,24	
DENS. HUMEDA (kg/m³)	1875	1970	2067	2104	2115	
DENS. SECA (kg/m³)	1615	1673	1712	1712	1689	
MUESTRA #:		1	2	3	4	5
CAPSULA #:	24	47	31	60	21	68
CAP. + SUELO HUM. (gr)	64,24	71,52	62,81	64,7	55,8	61,99
CAP. + SUELO SECO. (gr)	56,71	63,28	55,04	56,46	47,49	52,9
PESO DE CAP. (gr)	11,15	10,76	10,21	11,15	8,2	8,26
PESO DE AGUA. (gr)	7,53	8,24	7,77	8,24	8,31	9,09
PESO SUELO SECO (gr)	45,56	52,52	44,83	45,31	39,29	44,64
CONTEN. DE HUM. (%)	16,53	15,69	17,33	18,19	21,15	20,36
HUMEDAD PROM. (%)	16,11		17,76		20,76	22,89

GRÁFICO HUMEDAD VS DENSIDAD SECA:



RESULTADOS	
Peso Unitario Máximo del Suelo Seco	1718 Kg/m³
Yd máx=	22 %
Contenido Óptimo de Humedad	25,10 %

Observaciones: *Muestras depositadas en el Laboratorio por el Ing. Alex Pinos; C1:0301065215



.....Laborantista.....

Anexo 2. Prueba Proctor Estandar

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CONTROL DE CALIDAD FECHA 24-01-14


PROYECTO: MUESTRA N°

SECTOR: PROFUNDIDAD


SOLICITADO POR: Ing. Alex Pinos

denominación	NUMERO	Fecha ROTURA	EDAD DIAS	PESO gr	LARGO cm	ANCHO cm	ALTO cm	AREA cm ²	PESO VOLUMETRI CO g/cm ³	CARGA DE ROTURA Kcy	FLECHA DE ROTURA Mpa
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	1	21/01/2014		5862	29,20	14,50	9,10	423	1,545	110,756	2,616
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	3	21/01/2014		5897	29,20	14,50	9,10	423	1,531	114,675	2,708
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	4	21/01/2014		5895	29,20	14,50	9,10	423	1,530	110,311	2,605
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	8	21/01/2014		5803	29,20	14,50	9,10	423	1,532	110,288	2,603
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	9	21/01/2014		5966	29,20	14,50	9,10	423	1,556	117,843	2,783
LADRILLO REBIBRADO CON ROJO	10	21/01/2014		6272	29,20	14,50	9,10	423	1,628	167,204	3,949
/											

MUESTRAS DEPOSITADAS EN LABORATORIO




UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
Unidad Académica de Ing. Civil
EN INGENIERIA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
LABORATORIO DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL



Alexander Jara
SR. ATENASIO JARA
LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL

Anexo 3. Resultados prueba de resistencia a compresión axial de BTC curados y sin curar

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD FECHA: 08-08-14



SECTOR: MUESTRA: F

SOLICITADO POR: Ing. Alex Pinos PROFUNDIDAD:

PROCEDENCIA:

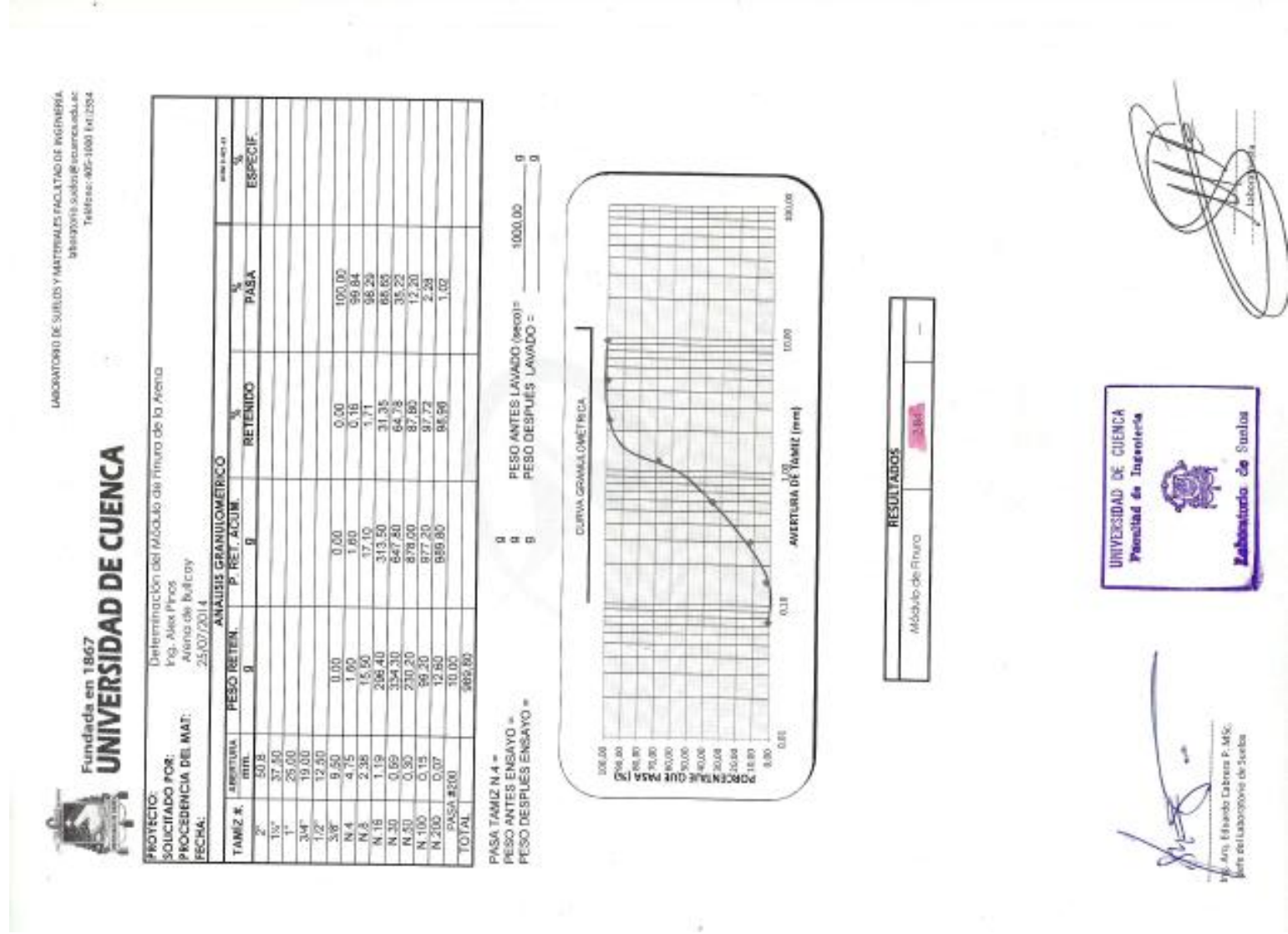
NOMENCLATURA	NUMERO	Fecha ROTURA	Fecha CONFECION	EDAD DIAS	PESO gr	LARGO cm	ANCHO cm	ALTO cm	AREA cm2	PESO VOLUMETRI CO g/cm3	CARGA DE ROTURA KN	f _{sup} ROTURA kg/cm2
LADRILLO CRUDO	1	08/08/2014	01/08/2014	7	6509	29,30	14,60	9,20	426	1,654	212,690	50,749
LADRILLO CRUDO	2	08/08/2014	01/08/2014	7	6466	29,20	14,50	9,30	423	1,640	180,656	43,509
LADRILLO CRUDO	3	08/08/2014	01/08/2014	7	6578	29,30	14,50	9,20	425	1,682	214,350	51,448
/												

MUESTRAS DEPOSITADAS EN LABORATORIO





LABORATORIO DE SUELOS

Anexo 4. Resultados de Pruebas de compresión axial de BTC con humedad óptima de compactación.



Anexo 5. Determinación del módulo de finura de la arena



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FECHA: 11-09-14
Ladrillos de tierra compactada

CONTROL DE CALIDAD

SECTOR: Reg. Mes Pisos

SOLICITADO POR: PROYECTO: PROYECTO

PROCESAMIENTO:


FECHA: 11-09-14

INDICIA M²


PROYECTO:

NOMENCLATURA	NUMERO	Fecha CONFECCIÓN	Fecha ROTURA	ESCALA (DAS)	PESO (g)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	AREA (cm ²)	PESO VOLUMETRI (CO-gr/m ³)	CARGA DE ROTURA (KN)	FALSA ROTURA (logras)
MURETE CON MORTERO 1-5	1		11/09/2014		21822	29.30	14.50	30.40	425	1.560	75.779	11.190
MURETE CON MORTERO 1-5	2		11/09/2014		22520	29.40	14.30	30.50	420	1.717	63.293	15.352
MURETE CON MORTERO 1-5	3		11/09/2014		21085	29.20	14.40	30.09	420	1.726	65.379	20.704
CUBOS	1		11/09/2014			5.01	5.15	5.16	28		34.369	135.867
CUBOS	2		11/09/2014			5.11	5.22	5.22	27		34.260	130.971
MURETE CON MORTERO 1-5	1	10/09/2014	15/09/2014	30	21522	29.30	14.50	30.00	425	1.690	57.731	13.856
MURETE CON MORTERO 1-5	2	16/09/2014	15/09/2014	30	21046	29.30	14.50	29.80	425	1.662	56.004	13.449
MURETE CON MORTERO 1-5	3	16/09/2014	15/09/2014	30	21342	29.30	14.50	29.60	425	1.697	40.051	9.913
MURETE CON MORTERO 1-5	1	16/09/2014	15/09/2014	30	21608	29.30	14.30	29.80	416	1.731	52.531	12.795
MURETE CON MORTERO 1-5	2	16/09/2014	15/09/2014	30	21016	29.30	14.40	29.90	422	1.666	41.574	10.048
MURETE CON MORTERO 1-5	3	16/09/2014	15/09/2014	30	21608	29.30	14.40	30.05	422	1.704	43.437	10.498
MURETE CON MORTERO 1-5	1	16/09/2014	15/09/2014	30	20970	29.30	14.30	30.01	419	1.667	60.984	14.840
MURETE CON MORTERO 1-5	2	16/09/2014	15/09/2014	30	21263	29.30	14.40	30.40	422	1.656	46.301	11.190
MURETE CON MORTERO 1-5	3	16/09/2014	15/09/2014	30	21325	29.30	14.30	30.60	419	1.693	95.098	12.407
MURETE CON MORTERO 1-5	1	16/09/2014	16/09/2014	28	21731	29.30	14.05	31.00	425	1.850	47.833	11.490
MURETE CON MORTERO 1-5	2	16/09/2014	16/09/2014	28	21764	29.30	14.40	30.60	422	1.673	35.072	15.727
MURETE CON MORTERO 1-5	3	16/09/2014	16/09/2014	28	21165	29.30	14.50	30.00	425	1.662	96.844	14.364
MURETE 5%	1	16/09/2014	16/09/2014	28	21176	29.20	14.60	30.70	426	1.619	54.426	8.241
MURETE 5%	2	16/09/2014	16/09/2014	28	21320	29.30	14.50	30.50	425	1.645	37.661	9.044
MURETE 5%	3	16/09/2014	16/09/2014	28	21462	29.40	14.50	30.40	426	1.651	45.941	10.989

MUESTRAS DEPOSITADAS EN LABORATORIO



ING. FEDERICO CORDOVA C.
JEFE DE LABORATORIO DE MATERIALES Y DISEÑO



ING. ATANASIYA
PROYECTISTA

Anexo 6. Resultados de pruebas de resistencia a compresión axial de muretes

DISEÑO DE MORTERO Cemento:Arena ($R'm = 135\text{kg/cm}^2$)

DISEÑO DE MORTERO 1		% FLUIDEZ (MESA DE FLUJO)	CONSISTENCIA	TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIONES DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN
Fluidez	100-120	80-100	Dura (seca)	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Secciones sujetas a vibración.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
		100-120	Media (plástica)	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Sin vibración.	Manual palas con y palustres.
		120-150	Fluida (húmeda)	Rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Sin vibración.	Manual, bombeo, inyección.

Tabla No. 9.1 Fluidez recomendada para morteros. ^{9.4.15}

DETERMINACION DE RESISTENCIA DE DOSIFICACION

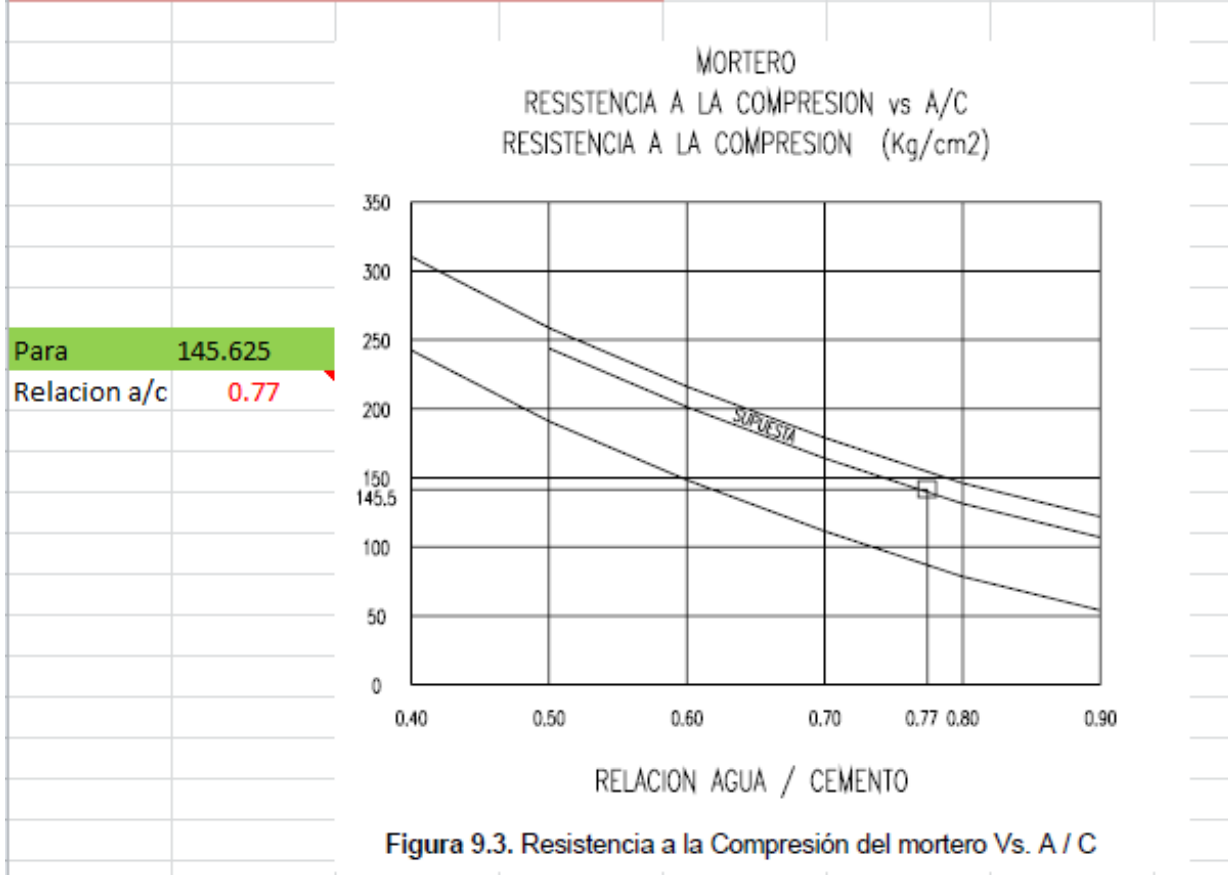
$R'm = 125 \text{ Kg/cm}^2$

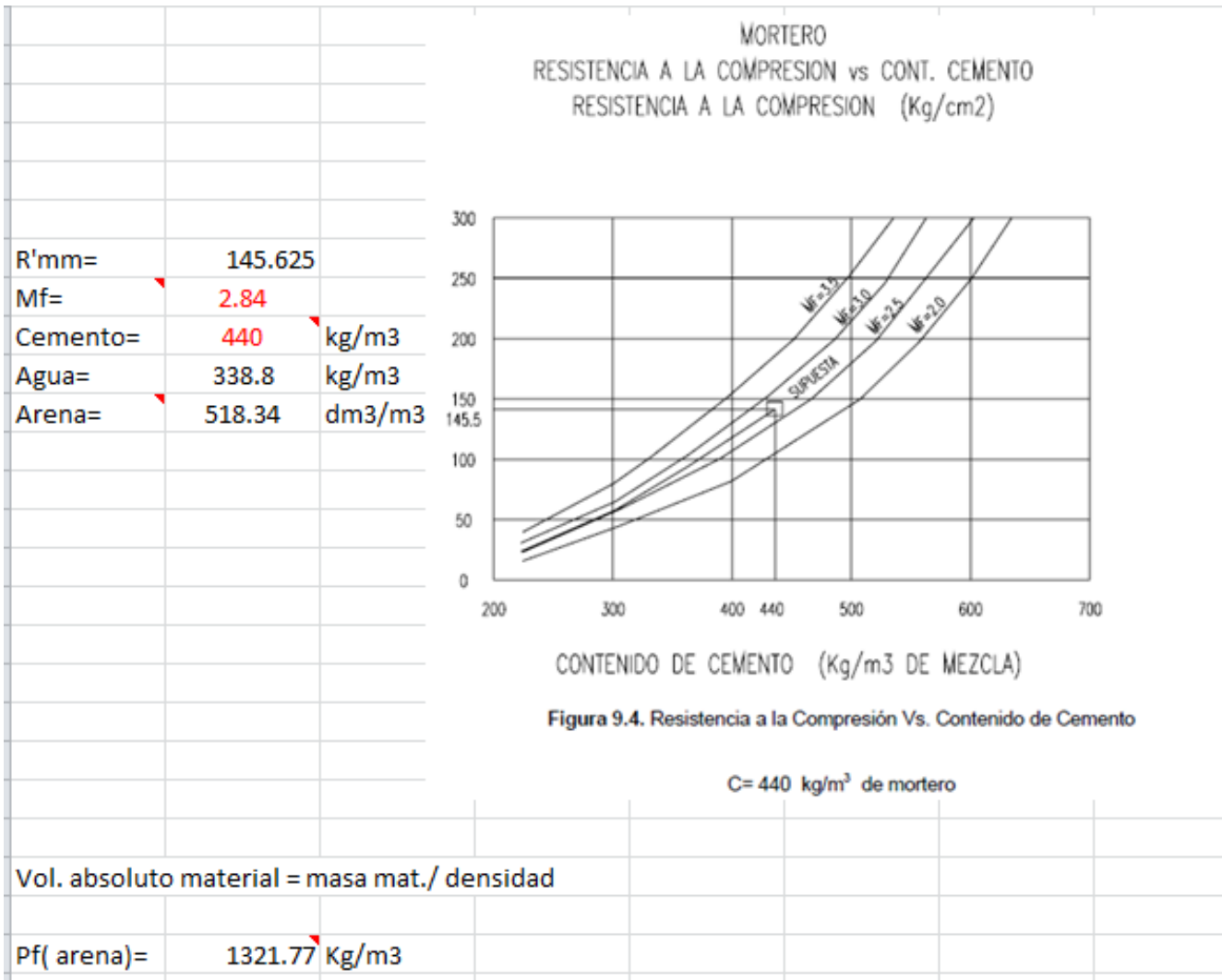
$V = 11 \%$

$R'mm = 145.625$ $R'mm = 1.35 * Rm$

SELECCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO

SELECCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO





Vol. absoluto material = masa mat./ densidad				
Pf(arena)=	1321.77			
CALCULO DE PROPORCIONES INICIALES				
A/C=	338.8	0.77		
	440			
f=	1321.77	3.00		
	440			
PROPORCIONES INICIALES:				
	Agua	Cemento	Arena	sum
Masa (kg/m2) =	338.8	440	1321.77	2100.57
Vol. Abs. (dm2) =	338.8	142.86	518.34	1000
Proporciones =	0.77	1	3.00	
PRIMERA MEZCLA DE PRUEBA				
Volúmen de mortero a preparar =		1.6	dm3	
Cantidad cemento para 1era mezcla =		0.70	kg	
	REDONDEO A =	0.8	KG	

AJUSTE POR HUMEDAD DEL AGREGADO							
Humedad Natural arena =		9 %					
Absorción del ladrillo =		4.5 %					
	Material	Proporcione	Masa Seca (g)	Masa húmeda (g)	Agua agregado (g)	Absorción (g)	Aporte (g)
	Agua	0.77	616				
	Cemento	1	800				
	Agregado fino	3.00	2400	2616	216	108	108
Agua de mezcla supuesta =			508 g				
Cemento =			800 g				
Arena =			2616 g				

norma española

UNE 41410

Diciembre 2008

TÍTULO

Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques
Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

Compressed earth blocks for walls and partitions. Definitions, specifications and test methods.
Blocs de terre comprimés pour murs et cloisons. Définitions, spécifications et méthodes d'essai.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 Construcción cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M. 55496-2008

© AENOR 2008
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Olivera, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel: 902 102 201
Fax: 913 104 032

26 Páginas

Grupo 13

AENOR

- 3 -

UNE 41410:2008

INDICE		Página
0	INTRODUCCIÓN.....	4
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	4
2	NORMAS PARA CONSULTA.....	4
3	TERMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS.....	5
3.1	Terminos y definiciones de los productos.....	5
3.2	Símbolos.....	7
4	MATERIALES Y FABRICACIÓN.....	7
5	ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FABRICA DE ALBAÑILERIA.....	7
5.1	Generalidades.....	7
5.2	Dimensiones y tolerancias.....	7
5.3	Configuración.....	8
5.4	Densidad.....	10
5.5	Características de los constituyentes.....	11
5.6	Resistencia a compresión.....	13
5.7	Resistencia a ciclos de humectación/secado.....	14
5.8	Resistencia a la erosión.....	14
5.9	Absorción de agua por capilaridad.....	14
5.10	Resistencia a ciclos de hielo/deshielo.....	14
5.11	Propiedades térmicas.....	14
5.12	Permeabilidad al vapor de agua.....	15
5.13	Reacción al fuego.....	15
5.14	Adherencia.....	15
6	DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC.....	15
6.1	Descripción y designación.....	15
6.2	Clasificación.....	15
7	MARCADO Y ENTREGA.....	16
7.1	Marcado.....	16
7.2	Entrega.....	16
8	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD.....	16
8.1	Aspecto.....	16
8.2	Resistencia a compresión.....	16
8.3	Ensayo de humectación/secado.....	16
8.4	Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET).....	17
8.5	Ensayo de absorción de agua por capilaridad.....	18
	ANEXO A (Informativo) USO Y DURABILIDAD.....	19
	ANEXO B (Informativo) AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE BTC.....	21
	ANEXO C (Informativo) ESTABILIZACIÓN.....	22
	ANEXO D (Informativo) EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES.....	24
	BIBLIOGRAFIA.....	26

UNE 41410:2008

- 4 -

AENOR

0 INTRODUCCION

Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité Técnico AEN/CTN 41 SC10 *Edificación con tierra cruda*, cuya Secretaría desempeña el Departamento de Construcción y Vías Rurales de la ETSI Agrónomos de Madrid.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores.

Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas.

Se aplica a los bloques de tierra comprimida conforme a la definición 3.1.2, que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que se citan a continuación son indispensables para la aplicación de esta norma. Únicamente es aplicable la edición de aquellos documentos que aparecen con fecha de publicación. Por el contrario, se aplicará la última edición (incluyendo cualquier modificación que existiera) de aquellos documentos que se encuentran referenciados sin fecha.

UNE 80309:2006 *Cementos naturales. Definiciones, clasificación y especificaciones de los cementos naturales.*

UNE 80402:2008 *Cementos. Condiciones de suministro.*

UNE 103101:1995 *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

UNE 103102:1995 *Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.*

UNE 103103:1994 *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.*

UNE 103104:1993 *Determinación del límite plástico de un suelo.*

UNE 103204:1993 *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.*

UNE 103205:2006 *Determinación del contenido de sales solubles de un suelo.*

UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 197-1:2000/A1:2005 *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

UNE-EN 197-2:2000 *Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 413-1:2005 *Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad.*

UNE-EN 413-2:2006 *Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-1:2002 *Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.*

UNE-EN 459-2:2002 *Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-3:2002 *Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.*

AENOR

- 5 -

UNE 41410:2008

UNE-EN 13279-1:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.*

UNE-EN 13279-2:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 772-1:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión.*

UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de superficie de huecos en piezas para fábrica de albañilería (por impresión sobre papel).*

UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 772-13:2001 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería. (excepto piedra natural).*

UNE-EN 772-16:2001 y UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 20: Determinación de la planitud de las caras de piezas para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 998-2:2004 *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería*

UNE-EN 1052-3:2003 *Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante.*

UNE-EN 1745:2002 *Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto.*

UNE-EN ISO 12572 *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. (ISO 12572:2001).*

3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

3.1 Términos y definiciones de los productos:

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1.1 pieza para fábrica de albañilería:

Componente preformado para uso en obras de albañilería.

3.1.2 Bloque de Tierra Comprimida (BTC):

Pieza para fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos (véase 5.3).

3.1.3 BTC ordinario:

Bloque utilizado para construir las partes macizas de las fábricas de albañilería.

3.1.4 BTC accesorio:

Bloque cuya forma o estructura interna son diferentes a las del bloque ordinario y que es utilizado para la ejecución de encuentros particulares de albañilería como armados verticales, dinteles, etc.

UNE 41410:2008

- 6 -

AENOR

3.1.5 bloque cara vista:

Bloque cuya cara, realizada para ser vista, se utiliza para construir los muros o los tabiques.

3.1.6 BTC macizo:

Bloque que presenta como máximo un 15% de huecos.

3.1.7 BTC aligerado:

Bloque cuya densidad aparente seca es menor o igual a 1 200 kg/m³.

3.1.8 BTC para armar:

Bloque con huecos o rebajes superficiales preparado para ser armado con elementos metálicos u orgánicos. En cada caso, se debe justificar que el hueco permite un recubrimiento adecuado.

3.1.9 BTC para colocación en seco:

Bloque con entrantes y salientes suficientes para que la transmisión de esfuerzos se realice en seco, total o parcialmente.

3.1.10 cara de colocación:

Cara superior del bloque en posición de obra, que recibe la capa de mortero que constituye la junta horizontal superior.

3.1.11 cara de apoyo:

Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.

3.1.12 junta continua:

Junta de mortero que se extiende de forma continua de un paramento a otro.

3.1.13 junta discontinua:

Junta de mortero que presenta uno o varios espacios vacíos, paralelos a los paramentos, dominando sobre toda la longitud del bloque (junta horizontal) o sobre toda su altura (junta vertical).

3.1.14 dimensión modular:

Dimensión del espacio de modulación asignado a una pieza para fábrica de BTC en el muro terminado, que se obtiene sumando a las dimensiones de fabricación del bloque el espesor de las juntas y, eventualmente, cuando el bloque lleva revestimiento, el de los acabados. Estas dimensiones de coordinación son determinantes para el ensamblaje de los bloques entre sí o con los elementos próximos.

3.1.15 dimensión nominal:

Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.

3.1.16 dimensión efectiva:

Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.

3.1.17 sección bruta (S_b):

Área obtenida al multiplicar las dos dimensiones efectivas, anchura y longitud, medidas en la misma sección horizontal. Salvo indicación en contra, la sección bruta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

3.1.18 sección neta (S_n):

Área de una sección horizontal de la tierra comprimida, excluidos los vacíos. Salvo indicación contraria, la sección neta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

3.1.19 sección de apoyo (S_a):

Superficie común de las partes de la cara de colocación y de la cara de apoyo superpuestas a las juntas de mortero y susceptibles de transmitir las cargas.

3.1.20 fisura:

Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.

3.1.21 microfisura:

Graveleta fina cuya anchura no supera 1 mm y que afecta a no todo el espesor de una pared o del producto.

3.1.22 valor declarado:

Valor que el fabricante tiene previsto alcanzar, teniendo en cuenta la precisión de los ensayos y la variabilidad del proceso de fabricación.

3.1.23 hueco:

Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fabrica de albañilería (por ejemplo, hueco para el mortero, acanaladura para enlucido, estriado para asegurar la discontinuidad de la junta de mortero).

3.1.24 alveolo:

Hueco que puede atravesar o no una pieza para fabrica de albañilería.

3.1.25 terminología del aspecto del paramento:

El aspecto de la(s) cara(s) vista(s), se obtiene directamente en molde (bloques brutos de desmolde) y se define según los siguientes ejemplos (lista no limitativa):

- Bloque de cara(s) plana(s): su(s) cara(s) vista(s) es (son) plana(s).
- Bloque con relieve: bloque en el que al menos una de sus caras vistas presenta un relieve, regular o no, obtenido por el efecto de la compresión.

3.2 Símbolos

- l* longitud, en mm;
- w* anchura, en mm;
- h* altura, en mm;
- f_c* resistencia normalizada a compresión, en N/mm².

4 MATERIALES Y FABRICACIÓN

Las especificaciones de los materiales que se utilizarán en la fabricación de los BTC deben incluirse en la documentación del control de producción. El fabricante tiene que probar que son los adecuados.

5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FABRICA DE ALBAÑILERIA

5.1 Generalidades

Las especificaciones y características requeridas en esta norma deben ser definidas de acuerdo a los métodos de ensayo y demás procedimientos referenciados o que aparecen explícitamente en ella.

Los criterios de conformidad dados en los apartados siguientes se refieren a los ensayos definidos en el capítulo 8 o en las normas de ensayo que se especifican.

Conviene destacar que los métodos de ensayo no son siempre aplicables a los bloques accesorios.

Para la evaluación de la producción, el fabricante debe definir el criterio de conformidad en la documentación del control de producción en fábrica.

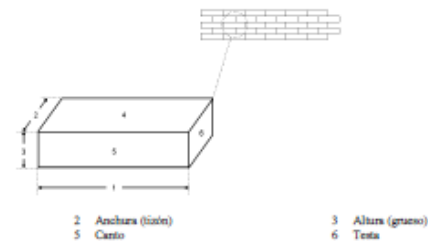
5.2 Dimensiones y tolerancias

La determinación de las dimensiones de los BTC se debe hacer de acuerdo con el procedimiento descrito en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

5.2.1 Dimensiones

El fabricante debe declarar las dimensiones nominales del bloque en milímetros, especificando la longitud (soga), la anchura (tirón) y la altura (grueso), por este orden (véase la figura 1).

NOTA. Además, se podrán especificar las dimensiones modulares.



NOTA. Esta nomenclatura es la empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro.

Figura 1 – Dimensiones y superficies

5.2.2 Tolerancias

La variación por exceso de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 5 mm. La variación por defecto de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 2 mm.

El fabricante podrá declarar tolerancias menores para una o más dimensiones.

Estas tolerancias no deben aplicarse a las dimensiones comprendidas entre las superficies del bloque que no sean planas. Las tolerancias admisibles en las dimensiones de fabricación de los bloques accesorios deben ser las indicadas en el párrafo anterior o las declaradas por el fabricante.

El procedimiento de medida debe estar de acuerdo con lo especificado en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

5.3 Configuración

5.3.1 Generalidades

La forma y sus características deben ser definidas por el fabricante.

5.3.2 Cara de apoyo

La cara de apoyo debe ser, al menos, un tercio de la sección bruta.

5.3.3 Juntas

5.3.3.1 Junta vertical o llaga

Las caras laterales de los extremos son generalmente planas. Los bloques destinados a ser colocados con una junta de mortero deben permitir la ejecución de una junta vertical continua de 15 mm acodada entre dos extremos planos para los bloques pudiéndose considerar un espesor de 10 mm cuando la coordinación modular lo permita.

5.3.3.2 Juntas horizontal o tendel

Las caras horizontales deben permitir la ejecución de juntas horizontales continuas.

5.3.4 Bloques accesorios

Los bloques accesorios, cuya utilización es particularmente recomendada para ciertas disposiciones constructivas, tales como armaduras horizontales y verticales así como para dinteles, deben ser de la misma naturaleza que los bloques a los cuales están asociados, con el fin de asegurar la homogeneidad de la albañilería en los distintos puntos. Estos bloques serán objeto de un cuidado particular durante el proceso de fabricación para evitar que sufran daños durante su manipulación.

5.3.5 Aspecto

5.3.5.1 Planeanidad de superficies

Las caras del bloque deben ser planas. La determinación de la planeanidad se hará de acuerdo con las Normas UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006. Cuando la superficie de un bloque es declarada plana por el fabricante, no se debe desviar de un plano en más del mayor de los siguientes valores:

$$2 \text{ mm o el resultado de la siguiente expresión: } (0,1\sqrt{l_4}) \text{ (mm)}$$

donde

l_4 longitud de la diagonal de la superficie del bloque declarada plana, basada en las dimensiones reales del bloque, en mm.

5.3.5.2 Defectos

Las caras vistas de los bloques no deben presentar defectos aparentes como deformaciones. Las aristas en la cara vista deben ser nitidas y rectilíneas. Las caras vistas no deben presentar ninguna mancha o suciedad importante o duradera que cubra más de $\frac{1}{4}$ de su superficie. Además, conviene determinar si estas manchas o suciedades son o no compatibles con el tipo de obra que se pretende ejecutar.

No se tendrán en cuenta ni los mantos blanquecinos ligeros ni los pequeños ribetes.

Desconchados

No se toleran los desconchados en las esquinas, excepto cuando puedan inscribirse en un triédro trirectángulo cerrado por un triángulo equilátero de lado $\leq T$ (mm) (véase la figura 2).

Los desconchados en las aristas y las oquedades solo son tolerables cuando su longitud sea inferior a T_1 (mm), medida sobre las aristas y la profundidad sea inferior a T_2 (mm), medida a partir de las aristas.

Los valores de T , T_1 y T_2 se dan en la tabla 1 y se ilustran en las figuras 2 y 3.

Tabla 1 – Tolerancias dimensionales de los desconchados en las esquinas y en las aristas:

Bloques	T (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)
BTC cara vista	10	20	5
BTC ordinarios	20	30	10



Figura 2 – Desconchado en una esquina

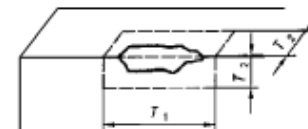


Figura 3 – Desconchado en una arista

Microfisuras

Las microfisuras solo se tolerarán en bloques cara vista, cuando:

- su anchura no supere 0,5 mm;
- su longitud no supere 20 mm;
- su profundidad no supere 5 mm;
- su número no pase de 2 para una misma cara.

Las microfisuras solo se tolerarán en los bloques ordinarios, cuando:

- su anchura no supere 1 mm;
- su longitud no supere 40 mm;
- su profundidad no supere 10 mm;
- su número no pase de 3 para una misma cara.

5.3.5.3 Alvéolos

El porcentaje de alvéolos, si los hay, debe ser declarado. El volumen en porcentaje de los alvéolos del bloque debe determinarse según las Normas UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 y por cálculo. Los resultados deben corresponder con los valores declarados.

5.4 Densidad

5.4.1 Densidad aparente seca de los bloques

El fabricante debe declarar la densidad aparente en seco del BTC. La determinación de la misma se hará de acuerdo con la Norma UNE-EN 772-13:2001.

5.4.2 Densidad absoluta seca de los bloques

El fabricante debe declarar la densidad absoluta seca del BTC cuando corresponda según los usos para los cuales se comercializa y para todos los casos en los que los bloques son utilizados en elementos sujetos a exigencias acústicas. La determinación de la misma se hará de acuerdo a la Norma UNE-EN 772-13:2001.

NOTA Se recomienda que el fabricante especifique la masa seca del BTC.

5.5 Características de los constituyentes

5.5.1 Estabilizantes y aditivos

El fabricante debe declarar el/los aditivos o estabilizante/s usado/s. En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de estos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.

Esta norma contempla otros tipos de estabilización. Algunos de ellos se recogen en el anexo C (informativo).

NOTA En el caso de utilizarse varios conglomerantes, se entiende que la suma de los porcentajes de todos ellos debe ser inferior al 15% de la masa en seco del BTC.

El cemento empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente¹⁾:

- Norma UNE 30402:2008.
- Norma UNE-EN 197-1:2000.
- Norma UNE-EN 197-1:2000/A1:2005.
- Norma UNE-EN 197-2:2000
- Norma UNE-EN 197-2:2000/A1:2005.
- Norma UNE 30309:1994.
- Norma UNE-EN 413-1:2005.
- Norma UNE-EN 413-2:2006.

La cal empleada como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente²⁾:

- Norma UNE-EN 459-1:2002.
- Norma UNE-EN 459-2:2002.
- Norma UNE-EN 459-3:2002.

El yeso empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes:

- Norma UNE-EN 13279-1:2006.
- Norma UNE-EN 13279-2:2006.

5.5.2 Tierra

La tierra destinada a la construcción de los BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua y, opcionalmente, con estabilizantes y aditivos.

Deben rechazarse las tierras que contengan:

- Materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. La determinación del contenido en materia orgánica de los suelos que se emplean en la fabricación de los BTC se hará de acuerdo con la Norma UNE 103204:1993.
- Sales solubles en contenido mayor del 2%. El contenido en sales solubles de los suelos que se emplean en la fabricación de los BTC se determinará de acuerdo con la Norma UNE 103205:2006.

1) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08).

2) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cales (RCA-92).

Las principales características de la tierra se definen por:

- La granulometría.
- La plasticidad.
- El tipo de arcilla.

5.5.2.1 Granulometría

La determinación de la distribución de tamaños de partícula de la tierra utilizada para fabricar los BTC se realizará según las Normas UNE 103101:1995 y UNE 103102:1995.

Se recomienda que la granulometría del material utilizado esté inscrita en el huso del diagrama de textura de la figura 4. Los límites del huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura esté inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de los casos.

No se admitirán aquellas tierras con un contenido en arcillas menor al 10%.

5.5.2.2 Plasticidad

La determinación de la plasticidad de los suelos que se utilizan para la fabricación de los BTC se realizará según lo establecido en las Normas UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993.

Se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en la zona sombreada del diagrama de plasticidad de la figura 5. Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya plasticidad queda inscrita en la zona sombreada recomendada, en la mayoría de los casos, dan resultados satisfactorios.

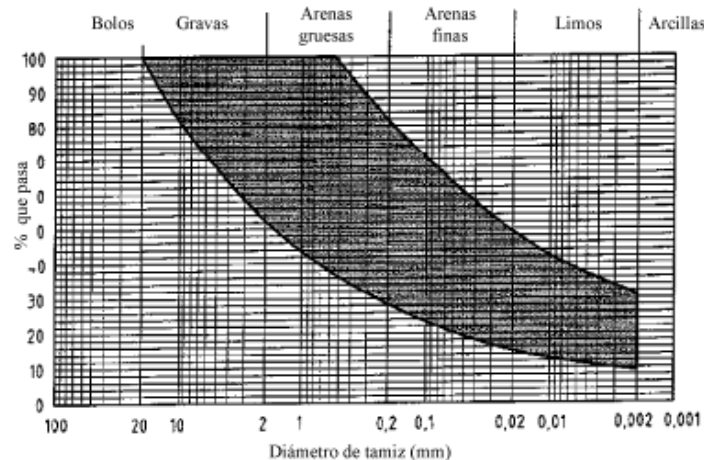


Figura 4 – Huso del diagrama de texturas de las tierras

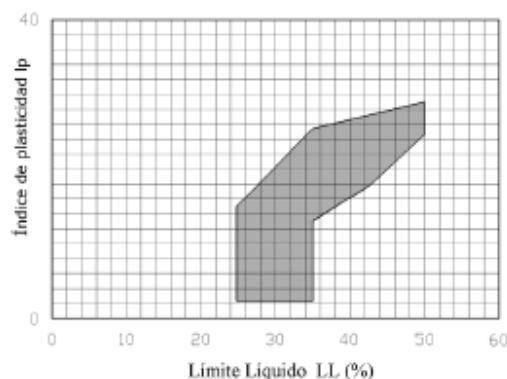


Figura 5 – Zona recomendada del diagrama de plasticidad de las tierras

5.5.3 Agua

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. En caso de no existir antecedentes de su uso y siempre que existan dudas, se recomienda analizarla según lo especificado en el anexo B (informativo).

5.6 Resistencia a compresión

El fabricante debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en N/mm^2 , (véase la definición de valor declarado en el apartado 3.1.18). El valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%), f_{cp} , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla 2.

NOTA. Esto significa que la interpretación estadística de los resultados de los ensayos debe demostrar que el 95% de la producción correspondiente presenta una resistencia al menos igual al valor correspondiente de la tabla.

Además, ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.

Tabla 2 – Clases de resistencia normalizada a compresión

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, f_{cp} , (fractil 5%), en N/mm^2	1,3	3	5

NOTA. Respecto a los bloques accesorios, véase el apartado 5.3.4.

Para la determinación de la resistencia normalizada a compresión, se debe seguir el procedimiento descrito en el apartado 8.2 de esta norma.

La declaración del fabricante debe indicar la orientación de los BTC que han sido ensayados, el método de apoyo del bloque, así como el método de acondicionamiento y de preparación de la superficie.

5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado

Los BTC utilizados en fabricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar de acuerdo al apartado 8.3 de esta norma, previamente al ensayo de erosión, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Pérdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

5.8 Resistencia a la erosión

Los BTC utilizados en fabricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar conforme al apartado 8.4 de esta norma. El BTC así ensayado se clasificará en "apto" o "no apto", según el criterio expresado en la tabla 3.

Tabla 3 – Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Propiedad	Criterio	Resultados
D , (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

5.9 Absorción de agua por capilaridad

El fabricante debe declarar el valor del coeficiente C_0 de absorción de agua por capilaridad de una muestra de piezas si estas están destinadas a elementos exteriores con la cara vista. Esta información debe referirse a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, según se especifica en el apartado 8.5 de esta norma.

5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, el fabricante debe evaluar y declarar la resistencia al hielo/deshielo del bloque, haciendo referencia a la experiencia previa de utilización en la zona de uso hasta que esté disponible una norma europea adecuada.

NOTA. Cuando el producto se utilice protegido frente a la penetración de agua (por ejemplo, mediante capa de empuje, revestimiento, pared interior de una cavidad del muro, muros internos), no es necesario hacer referencia a la resistencia al hielo/deshielo.

5.11 Propiedades térmicas

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, y en todos los casos para bloques que vayan a usarse en construcciones sujetas a exigencias de aislamiento térmico, el fabricante debe facilitar la información sobre las propiedades térmicas del producto. Dichas propiedades térmicas deben determinarse según el apartado 4.2.2 de la Norma UNE-EN 1745:2002.

AENOR

- 15 -

UNE 41410:2008

EN 41410:2008

- 16 -

AENOR

5.12 Permeabilidad al vapor de agua

Para los BTC destinados a paramentos exteriores, el fabricante tiene que facilitar la información relativa a la permeabilidad de las piezas, acorde con la Norma UNE-EN ISO 12572.

5.13 Reacción al fuego

Para los BTC diseñados para ser utilizados en elementos con requisitos de resistencia al fuego, el fabricante debe declarar la clasificación de reacción al fuego de los bloques.

5.14 Adherencia

Si los bloques están diseñados para ser sometidos a requisitos estructurales, la resistencia de la adherencia a cortante de la pieza en combinación con un tipo específico de mortero conforme a la Norma UNE EN 998-2:2004 debe declararse en términos de la resistencia característica inicial a cortante en base a ensayos conforme a la Norma UNE-EN 1052-3:2003. La resistencia característica inicial a cortante no debe ser inferior al valor declarado.

NOTA: La resistencia de adherencia depende del mortero, del bloque y del trabajo del operario.

6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC

6.1 Descripción y designación

La designación de los bloques de tierra comprimida comprende, por orden, las indicaciones siguientes:

- "BTC" (para bloques de tierra comprimida),
- categoría de uso: O (comunes) o P (cara vista),
- clase de resistencia a compresión,
- dimensiones de fabricación expresadas por orden: longitud-anchura-altura (en mm),
- referencia a esta norma.

Ejemplos de denominación:

- BTC O 3, 295 × 140 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 220 × 220 × 95, UNE-41410.
- BTC P 5, 300 × 145 × 105, UNE-41410.

6.2 Clasificación

Se distinguen dos categorías de bloques de tierra comprimida:

- a) categoría O: bloques comunes destinados a ser recubiertos por una protección cualquiera;
- b) categoría P: bloques cara vista.

En cada categoría, los bloques se clasifican en función de su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión.

Según su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión con respecto a la sección bruta y expresada en N/mm², los bloques se clasifican de acuerdo con una de las clases de resistencia definidas en el apartado 5.6.

- BTC 1.
- BTC 3.
- BTC 5.

ALMACENAMIENTO Y ENTREGA

Marcado

documentos que acompañan el suministro (nota de entrega) deben llevar indicada la identificación propia y cada de cada fabricante.

La variación de la masa volumétrica de un lote determinado no deberá exceder de 100 kg/m³.

Entrega

El momento de entrega para fechar el final de fabricación debe ser tal que, teniendo en cuenta las condiciones de recepción, las especificaciones de la norma sean respetadas.

Para los bloques con un estabilizante que requiera un tiempo de fraguado, el periodo de fabricación debe comprender necesariamente un periodo de cura suficiente y adecuado al tipo de estabilizante utilizado.

VALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

El fabricante que, para la venta de sus productos, se base en esta norma, o en un texto que haga referencia a alguno de sus apartados, debe garantizar que todas las prescripciones enumeradas han sido respetadas y en particular, que se han cumplido las verificaciones correspondientes.

Aspecto

Debe controlarse el aspecto de los bloques de la muestra y anotarse los defectos eventuales. El material utilizado para controlar el aspecto del paramento debe permitir una apreciación con aproximación de 1 mm.

Debe verificarse que el estado de la superficie del paramento es conforme con la terminología de aspecto del paramento dado a la hora del pedido.

Resistencia a compresión

Para el cálculo de la resistencia a compresión del BTC, se seguirá el procedimiento descrito en la Norma EN 772-1:2002, con la salvedad de que sólo se admitirá el ensayo de piezas enteras secadas al aire, no siendo, por tanto, de aplicación los apartados 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 de dicha norma).

Para el cálculo de la resistencia normalizada a compresión, se aplicará a la resistencia característica obtenida tras el ensayo solamente el factor de forma correspondiente, sin aplicar el factor de conversión debido al acondicionamiento de la muestra.

Ensayo de humectación/secado

Este ensayo se debe realizar previamente al ensayo de erosión.

Probetas

Deben tomarse dos bloques enteros, utilizándose uno de ellos como referencia.

Equipo

El equipo necesario para realizar el ensayo estará formado por los siguientes elementos:

- una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar el BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo.
- tres piezas de apoyo de 3 mm de altura.

8.3.3 Procedimiento

Se coloca la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de la bandeja y sobre los apoyos. Se añade agua hasta que quede sumergida hasta 10 mm. Se mantiene sumergida 30 s. Se deja secar al aire, hasta igualar el color del bloque de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo enumeradas en el apartado 5.7. Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/secado/observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.

8.3.4 Resultados

Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán aptos si tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas en el apartado 5.7 de esta norma.

8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

8.4.1 Probetas

Se ensayarán al menos dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.

8.4.2 Equipo

En la figura 6 se muestra un esquema del equipo a utilizar.

8.4.3 Procedimiento

Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min a través de un tubo de cristal de $\varnothing_{int} = 5$ mm, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Este se mantiene inclinado a 27° respecto a la horizontal. Con una varilla de $\varnothing = 3$ mm, se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.

8.4.4 Resultados

El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificarán como "apto" o "no apto", según el criterio detallado en el apartado 5.8 de esta norma.

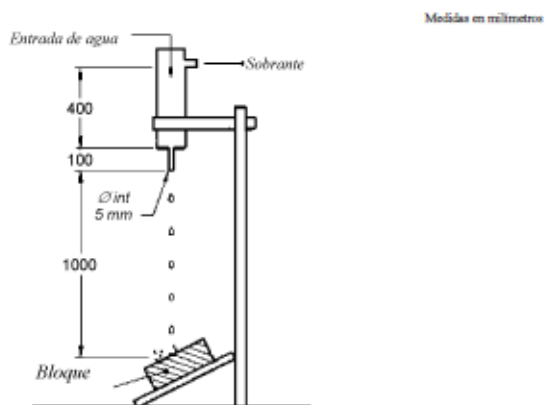


Figura 6 – Esquema del ensayo (informativo)

8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los BTC se realizará conforme a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta las observaciones siguientes:

8.5.1 Probetas

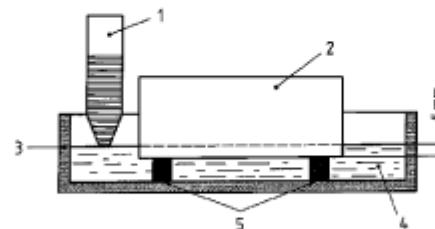
Las medidas se efectúan sobre seis bloques enteros.

8.5.2 Equipo

Se debe utilizar el mismo equipo que se especifica en las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta que la estufa que se utilice ha de ser capaz de mantener una temperatura de 70 ± 5 °C.

8.5.3 Procedimiento

Se debe seguir el mismo procedimiento que el indicado en la Norma UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN-772-11:2001/A1:2006, pero el secado será a 70 °C y el tiempo de inmersión será de 10 min ($\pm 0,2$ min).



Leyenda
1 Depósito (nivel constante)
2 Bloque
3 Cubeta
4 Agua potable
5 Soportes regulables

Figura 7 – Capilaridad. Esquema del ensayo (informativo)

8.5.4 Resultados

Se deben seguir las prescripciones de la Norma UNE-EN 772-11:2001 / y UNE-EN-772-11:2001.A1:2006, con las apreciaciones siguientes:

- Para los bloques que presentan un dibujo regular sobre las dos caras, se tendrá en cuenta la superficie desarrollada.
- En los demás casos, no se tendrán en cuenta las irregularidades de la superficie en el cálculo del área.

ANEXO A (Informativo)

USO Y DURABILIDAD

A.1 Uso del BTC

Las piezas de BTC pueden ser utilizadas en aplicaciones de distinta naturaleza, debiendo exigirse para cada una de ellas las prestaciones adecuadas. En caso de que la aplicación sea novedosa, será el responsable del diseño de la construcción quien especifique las prestaciones mínimas exigibles.

Las aplicaciones particulares son las siguientes:

- Fabrica común: aquella que se emplea en exteriores o interiores, sin un fin estético, pudiendo ser portante o no.
- Fabrica protegida: aquella que se emplea en exteriores o interiores, protegida frente a la penetración de agua, pudiendo ser portante o no.
- Fabrica para revestir: aquella que se emplea en exteriores o interiores, que se recubrirá de una capa protectora adecuada, pudiendo ser portante o no.
- Fabrica vista: aquella que se emplea, con un fin estético, en exteriores o interiores, pudiendo ser portante o no. Constituida por piezas cuyo acabado sea atractivo, emplea sistemas de montaje y acabados con juntas de mortero adecuados a este tipo de piezas.
- Fabrica estructural: Aquella que se utiliza en exteriores o interiores, capaz de soportar cargas, además de su peso propio. Puede ser vista, común o revestida. Se considera que la fábrica de BTC, por sí sola, no posee capacidad resistente ante acciones sísmicas.

Los muros de fábrica tienen que garantizar prestaciones específicas ante los casos de incendio y ofrecer buen aislamiento acústico y térmico. Si fuera necesario se especificaran estas prestaciones en notas adicionales.

Los bloques de BTC tendrán que superar las condiciones de exposición locales para asegurar tanto la integridad estructural como la funcionalidad de la obra.

A.2 Durabilidad

Ante la actual inexistencia de códigos europeos de buena práctica que sirvan de guía para la ejecución de las obras con garantías de asegurar la durabilidad en servicio de la fábrica terminada, se proponen a continuación una serie de recomendaciones para la resistencia a los ciclos de hielo/deshielo y el contenido en sulfatos en condiciones de servicio, incluyendo el grado de exposición y el riesgo de saturación.

A.2.1 Resistencia al hielo/deshielo

Sería recomendable especificar el grado de resistencia al hielo/deshielo para el BTC, tras haber evaluado el grado de exposición al que se someterá la pieza, incluyendo la protección frente a la saturación de la fábrica.

El grado de exposición al hielo/deshielo sirve para definir el riesgo al que se ve sometida la fábrica ante la combinación de un contenido elevado de agua y la incidencia de ciclos de hielo/deshielo, teniendo en cuenta el diseño de la construcción. Los parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de definir dicho riesgo son la temperatura y la humedad. Así, se pueden definir tres clases de exposición: severa, moderada y baja.

Sería recomendable evaluar la influencia de los posibles revestimientos superficiales que se empleen para proteger la fábrica. Un revestimiento superficial puede originar un incremento de las exigencias de construcción en zonas de clima costero templado.

A título informativo, se proponen los siguientes ejemplos de grado de exposición:

- Fabrica sometida a exposición severa: fábrica sin revestir, próxima al nivel del terreno (aproximadamente dos hiladas por encima) y chimenea de fábrica, cuando pueda existir riesgo combinado de saturación de agua y helada; coronaciones, cornisas y antepechos en zonas donde exista riesgo de helada; muros de cierre y muros pantalla cuando la pared no esté provista de un revestimiento.
- Fabrica sometida a exposición moderada: se pueden tomar una serie de medidas preventivas que moderen el riesgo de saturación de la fábrica, tales como protección de las coronaciones de muro por medio de albardillas o aleros, protección de alféizares de ventana con vierteaguas, membranas impermeables en la coronación y en la base de fachadas ventiladas.
- Fabrica sometida a exposición baja: fábrica de muros exteriores protegida mediante un revestimiento adecuado a las condiciones climáticas locales, fábrica de muros interiores y las hojas interiores de muros capuchinos.

A.2.2 Acción de los sulfatos en piezas de BTC, morteros y revestimientos

La acción negativa de los sulfatos en fábricas de BTC deriva del uso del cemento Portland como constituyente de las piezas (estabilizante) o como mortero de unión de las piezas o como constituyente del revestimiento de la fábrica.

Resulta recomendable declarar la categoría de contenido en sales solubles activas de las piezas, del mortero y del revestimiento (si existe), para asegurar que no aparezca deterioro de los mismos en las condiciones particulares de uso.

Las tres categorías dadas en la tabla A.1 especifican los contenidos máximos recomendables de sulfatos (de sodio, potasio y magnesio) de las piezas, para las condiciones particulares de uso. Dichos contenidos se determinarán según la Norma UNE-EN 772-5:2002.

Las condiciones de uso quedan definidas a través del riesgo de saturación de agua, que se puede deducir de las categorías de exposición al hielo/deshielo (véase A.2.1).

S2: piezas, mortero o revestimiento con cemento Portland ordinario, sometidos a una posible saturación prolongada.

S1: piezas o mortero sometidos a una exposición moderada, protegidos debido al diseño detallado de la construcción. Mortero o revestimientos con cemento Portland resistente a los sulfatos sometidos a una posible saturación prolongada.

S0: fábrica completamente protegida contra la penetración de agua.

Tabla A.1 – Categorías según el contenido en sales solubles activas:

Categoría	Contenido total en masa (%), no mayor de:	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	Sin exigencia	Sin exigencia
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

NOTA: Cuando el uso del producto prevea una protección completa contra la penetración de agua (por ejemplo, capa gruesa de emalido, pared interior de un muro capuchino, muros interiores) no hay requisitos en cuanto al contenido en sales solubles activas (categoría S0).

ANEXO B (Informativo)

AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE LOS BTC

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberían analizarse las aguas que se utilicen para amasar los morteros a base de cemento o aquellas que se utilicen para fabricar los BTC en los que el cemento está entre sus constituyentes a modo de estabilizante. El análisis de las aguas se realizará según las normas siguientes:

Norma UNE 7132:1958

Norma UNE 7178:1960

Norma UNE 7235:1971

Norma UNE 83951:2008

Norma UNE 83952:2008

Norma UNE 83956:2008

Los requisitos recomendables para las aguas analizadas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al mortero o al BTC, son los siguientes:

- pH \geq 5, determinado según la Norma UNE 83952:2008.
- Sulfatos, (SO_4^{2-}) \leq 1 g/l (1 000 p.p.m), determinados según la Norma UNE 83953:2008.
- Ion cloruro, (Cl) \leq 3 g/l (3 000 p.p.m), determinado según la Norma UNE 7178:1960 (solo para fábrica de BTC armada con acero).
- Hidratos de carbono = 0, determinados según la Norma UNE 7132:1958.
- Sustancias orgánicas solubles en éter \leq 15 g/l (15 000 p.p.m), determinadas según la Norma UNE 7235:1971.

ANEXO C (Informativo)

ESTABILIZACIÓN

Esta norma contempla varios métodos de estabilización del BTC. A continuación se recogen algunas recomendaciones.

C.1 Criterios de elección de estabilizantes:

Para decidirse por un método correcto de estabilización, se recomienda reunir suficiente información sobre los estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios:

- Disponibilidad regional: se preferirán los productos cercanos.
- Minimización del impacto ambiental, realizándolo a partir del análisis del ciclo de vida del estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.
- Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
- Evaluación económica.

C.2 Estabilidad de la tierra

Se entiende por una tierra estable aquella que presenta buena resistencia a la deformación y es poco sensible a la presencia de agua.

La utilización de estabilizantes es básica para la obtención de un material de calidad que resuelva las posibles carencias del material tierra disponible.

Hay diferentes tipos de estabilización, agrupados según la acción que ejerzan sobre el material tierra. Estas acciones son:

- Química: cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad.
- Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra.
- Mecánica: una acción mecánica aumenta la compactación del material. Esta puede ser: estática, dinámica o mixta (proyección, amasado). La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

Ejemplos de estabilizantes químicos:

- Aceites naturales: Coco, savia de caucho, savias naturales, látex, prensado de oliva, etc.
- Silicatos de sosa y orina.
- Cal viva o apagada.
- Resinas acrílicas.
- Fulilicatos, el hidróxido de Bario, ácido húmico y ácido tánico.
- Yema de huevo.

- Productos puzolámicos.

- Cementos.

- Yesos.

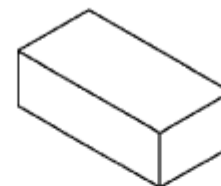
- Resinas.

Ejemplos de estabilizantes físicos:

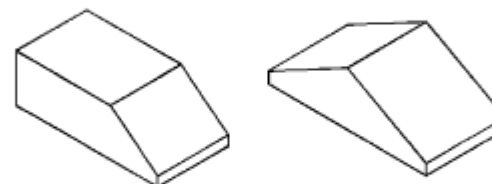
- Estabilización granulométrica: se realiza con la mezcla de suelos naturales, utilizándose normalmente una combinación binaria de suelos.
- Estabilización con fibras: crea un armazón interno, lo que aporta una mejora en el reparto de las tensiones en la matriz terrosa, pudiendo incrementar la resistencia a flexión y a cortante, y ayudando a evitar la retracción.

ANEXO D (Informativo)

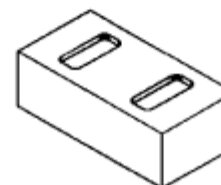
EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES



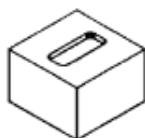
a) Bloque macizo



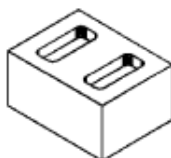
b) Piezas especiales macizas



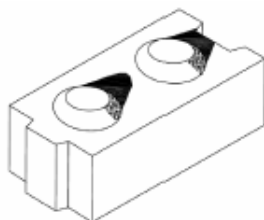
c) Bloque macizo con rebaje entero



d) Bloque macizo con rebaje medio



e) Bloque macizo con rebaje tres cuartos



f) Bloque Mattona

Figura D.1 – Ejemplos de diferentes formas de bloques

BIBLIOGRAFÍA

RCA-92. *Instrucción para la Recepción de Cales en obras de estabilización de suelos, (Orden de 18 de diciembre de 1992).*

RC-08. *Instrucción para la recepción de cementos, (R.D. 956/2008, de 6 de junio).*

Código Técnico de la Edificación (RD 1351/2007 de 19 de octubre).

UNE 7132:1958 *Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.*

UNE 7178:1960 *Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.*

UNE 7235:1971 *Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.*

UNE 83951:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras.*

UNE 83952:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del pH. Método potenciométrico.*

UNE 83956:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato.*

UNE 103100:1995 *Preparación de muestras para ensayos de suelos.*

UNE-EN 771-1:2003 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.*

UNE-EN 771-3:2004 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros).*

UNE-EN 772-5:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería.*

UNE-EN 13501-1:2007 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*