



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE
BALDOSAS Y LADRILLOS CERÁMICOS SEGÚN NORMAS
NACIONALES E INTERNACIONALES**

MARIO EUGENIO HUITZ PUAC

Asesorado por: Dr. Ing. Edgar Virgilio Ayala

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE BALDOSAS
Y LADRILLOS CERÁMICOS SEGÚN NORMAS NACIONALES E
INTERNACIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO EUGENIO HUITZ PUAC

ASESORADO POR: Dr. Ing. EDGAR VIRGILIO AYALA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez
EXAMINADOR	Ing. Fredy Enrique Ríos
EXAMINADOR	Ing. Armando Ola Hernández
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE BALDOSAS Y LADRILLOS CERÁMICOS SEGÚN NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 22 de septiembre de 2003.

Mario Eugenio Huitz Puac

AGRADECIMIENTO

Quisiera escribir, si consigo abreviar en esta página, mi agradecimiento; y exteriorizar así la alegría tan grande, de sentir la presencia y el apoyo de quienes creyeron, que a pesar de muchos inconvenientes, ahora culmine una etapa importante en mi vida.

Agradezco a Dios, quien sin importarle mis errores, me ha elegido como hijo y amigo (San Juan 15: 15 - 16) colmándome así de bendiciones; bendiciones que he utilizado como herramientas para seguir adelante ante cada tropiezo.

Le agradezco a Él, por darme una familia a la que amo tanto. Mis padres, Alberto Federico Huitz Hernández (requiescat in pace) y Graciela Puac Hernández, quien con infinitas voluntades siempre me brinda su apoyo, compartiendo con ella el triunfo que merece más que nadie. Mis hermanos Nery Abraham y Yuri Liliana de quienes he sentido siempre la presencia de su cariño y apoyo; y me trasladan a esos años maravillosos que han quedado atrás.

A : Dr. Ing. Edgar Virgilio Ayala, por asesorarme en el presente trabajo.

Ing. Mario Rodolfo Corzo, por sus sabias enseñanzas, ayuda y apoyo magnánimo.

A todas las personas que aportaron su tiempo y esfuerzo para la realización del presente, y que estoy seguro que sabrán identificarse en estas palabras; al personal del Centro de Investigaciones de Ingeniería, especialmente al área de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos.

DEDICADO A

DIOS **Por guiarme en cada momento de mi vida, y por todo lo que ha llegado a significar para mí.**

A aquella persona que se esfuerza por alcanzar sus sueños engrandeciendo así a Dios y a Guatemala.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

¡Vivant studiosi! Crescat una veritas, floreat fraternitas, patriae prosperitas.
(¡Vivan los que estudian! Que crezca la única verdad, que florezca la fraternidad y la prosperidad de la patria)

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS	1
1.1 Definición	1
2. MATERIA PRIMA	3
2.1 Plasticidad	5
2.2 Permeabilidad	6
2.3 Baldosas que se elaboran en nuestro medio	7
3. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LAS BALDOSAS	9
3.1 Características físicas	9
3.2 Propiedades mecánicas	11
3.2.1 Resistencia al impacto	11
3.2.2 Resistencia a la flexión	11
3.3 Normas y especificaciones técnicas consultadas para la realización de los ensayos aplicables a las baldosas cerámicas ...	12
3.3.1 Análisis granulométrico	12
3.3.2 Muestreo e inspección	14
3.3.3 Inspección visual	14

3.3.4	Determinación de las dimensiones y masa	15
3.3.5	Forma y dimensiones	15
3.3.6	Determinación de la expansión por humedad usando agua hirviendo.....	16
3.3.7	Determinación de absorción del agua	18
3.3.8	Ensayo para determinar la permeabilidad de las baldosas	19
3.3.9	Ensayo para la determinación del agrietamiento en autoclave	19
3.3.10	Determinación de la resistencia al desgaste o abrasión ..	20
3.3.10.1	Preparación y conservación de las muestras..	20
3.3.11	Determinación de la resistencia al impacto	21
3.3.12	Determinación de la resistencia a la flexión	22
3.3.13	Determinación de la resistencia al deslizamiento	24
4.	LADRILLOS CERÁMICOS	25
4.1	Definición	25
4.2	Tipos de ladrillos	26
4.3	Selección de la materia prima	26
4.4	Preparación de la materia prima	27
5.	DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LOS LARILLOS CERÁMICOS	29
5.1	Síntesis de normas COGUANOR	29
5.2	Toma de muestras (según NGO 41 023).....	31
5.3	Determinación de la forma y dimensiones (NGO 41 024 h1)	32
5.3.1	Determinación de las dimensiones	33
5.3.2	Comprobación de la forma	34
5.4	Determinación de la resistencia a compresión (NGO 41 024 h2) ...	35
5.4.1	Preparación y conservación de las muestras	36

5.5	Determinación de la adherencia (NGO 41 024 h3)	37
5.6	Determinación de la absorción de agua (NGO 41 024 h4)	39
5.7	Determinación de la razón inicial de absorción (succión) (NGO 41 024 h5).....	41
5.8	Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)	45
6.	DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LOS LARILLOS CERÁMICOS. SEGÚN NORMAS UNE	47
6.1	Métodos de ensayo	47
6.2	Características dimensionales y de forma.....	47
6.3	Características físicas y mecánicas de los ladrillos.....	49
6.3.1	Resistencia a la compresión	49
6.3.2	Resistencia a la heladicidad	50
6.3.3	Determinación de eflorescencias	52
6.3.4	Determinación de la succión	54
6.3.5	Determinación de la masa	55
7.	SÍNTESIS DE LAS NORMAS INTERNACIONALES.....	57
7.1	Síntesis de normas para ladrillos cerámicos(INCONTEC)	57
7.2	Síntesis de normas para ladrillos cerámicos(IRAM).....	58
7.3	Síntesis de normas para ladrillos cerámicos(UNE)	59
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	61
8.1	Ensayos realizados	61
8.2	Especímenes utilizados.....	62
8.3	Ensayos realizados a baldosas artesanales e industriales	63
8.3.1	Muestreo e inspección	63
8.3.2	Inspección visual	64
8.3.3	Determinación de las dimensiones y masa	64

8.3.4	Determinación del agrietamiento en autoclave	66
8.3.4.1	Análisis de resultados	67
8.3.5	Expansión por humedad utilizando agua hirviendo	69
8.3.5.1	Análisis de los resultados	69
8.4	Ensayos realizados aladrillos artesanales e industriales	71
8.4.1	Heladicidad	71
8.4.2	Eflorescencias.....	72
8.4.3	Determinación de la masa	74
9.	COSTOS SUGERIDOS PARA ENSAYOS REALIZADOS DE ACUERDO CON EL ARANCEL VIGENTE DEL CII.	75
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	83
	APÉNDICE	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Baldosa doble	7
2	Baldosa simple	7
3	Ensayo de flexión	22
4	Puntos de medición de las dimensiones	33
5	Forma de pegar los ladrillos para el ensayo	38
7	Montaje del ensayo de eflorescencias	53
8	Esquema para la determinación de la succión	54
9	Medidas a probetas de baldosas artesanales e industriales	67

TABLAS

I	Ensayos de laboratorio para determinar los límites	6
II	Normas que hacen referencia al sistema por muestreo	14
III	Resumen de las características de la Norma ISO 10545-10	17
IV	Normas que hacen referencia a este tipo de ensayo	21
V	Clasificación, designación y usos de los ladrillos de barro cocido	30
VI	Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido	30
VII	Tamaño de la muestra	31
VIII	Número de especímenes para cada ensayo	31

IX	Tolerancias	48
X	Flechas admisibles	49
XI	Masa mínima para ladrillos perforados	56
XII	Ensayos a las baldosas	61
XIII	Ensayos a ladrillos	62
XIV	Costos sugeridos	75
XV	Normas consultadas para las baldosas	87
XVI	Normas consultadas para los ladrillos	88
XVII	Características de los ensayos para baldosas	89
XVIII	Características de los ensayos para ladrillos	90
XIX	Características de los ensayos a baldosas, dimensiones utilizadas	91
XX	Características ensayos a ladrillos, dimensiones utilizadas	92
XXI	Dimensiones y masa de las baldosas artesanales medida nominal de 250 x 250 x 25 en mm	93
XXII	Variación en porcentajes para baldosas artesanales	93
XXIII	Dimensiones y masa de baldosas industriales medida nominal de 250 x 250 x 2.5	94
XXIV	Variación en porcentajes para baldosas industriales	94
XXV	Forma para baldosas artesanales	95
XXVI	Forma para baldosas industriales	95
XXVII	Cambio volumétrico por autoclave (probetas de baldosas artesanales antes del ensayo)	96
XXVIII	Cambio volumétrico por autoclave (probetas de baldosas artesanales después del ensayo)	96
XXIX	Cambio volumétrico por autoclave totales (baldosas artesanales)	97
XXX	Cambio volumétrico por autoclave antes (baldosas industriales)	97

XXXI	Cambio volumétrico por autoclave después (baldosas industriales)	98
XXXII	Cambio volumétrico por autoclave totales (baldosas industriales)	98
XXXIII	Determinación de la expansión, probetas artesanales	99
XXXIV	Determinación de la expansión, probetas artesanales	100
XXXV	Determinación de la expansión, probetas industriales	101
XXXVI	Determinación de la expansión, probetas industriales	102
XXXVII	Determinación de la expansión, resumen de expansión/contracción	103
XXXVIII	Determinación de la resistencia a la heladicidad	104
XXXIX.	Eflorescencias	105
XL	Determinación de la masa	105

GLOSARIO

Absorción	Aumento de peso, generalmente expresado en porcentaje, que experimenta una probeta de un material después de su inmersión en un fluido en condiciones prefijadas.
Adherencia	Resistencia que se opone al deslizamiento o a la separación en la superficie de contacto de dos materiales.
Área bruta	Es el área total de la cara del ladrillo perpendicular a los agujeros, es decir, es el producto del largo por el ancho del ladrillo.
Área neta	Es el área de la cara del ladrillo perpendicular a los agujeros descontando el área transversal de ellos, es decir, es el área bruta menos el área de los agujeros.
Arista	Línea de intersección de dos planos.
Autoclave	Cámara para llevar a cabo reacciones a alta presión y temperatura.

Caliche	Grano de óxido cálcico (CaO), producido durante la cocción del ladrillo, que se expansiona al hidratarse, dando lugar a la aparición de desconchados.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Compresión	Presión que tiende a causar una reducción de volumen.
Desconchado	Desprendimiento de una parte superficial del material que hace aparecer un cráter más o menos profundo en el ladrillo, de dimensión media superior a siete milímetros. La dimensión media de un desconchado en la media aritmética de los lados del menor rectángulo circunscrito a dicho desconchado.
Eflorescencia	Son manchas superficiales en las caras de los ladrillos, generalmente blanquecinas y producidas por la cristalización de sales solubles arrastradas por el agua hacia el exterior del ladrillo en los ciclos de humectación-secado (al perder su agua por evaporación).
Ensayo	Tienen como finalidad determinar las características de los materiales.
Exfoliación	Todo defecto originado en el moldeo consistente en una estructura hojosa o laminar del ladrillo.
Fisura	Hendidura más o menos irregular que afecta a la totalidad del espesor de una pared de ladrillo

Imbibición	Embebecimiento, acción o efecto de embeber.
Intersticial	Que está en los intersticios de la estructura que compone un objeto.
Intersticio	Espacio pequeño que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.
Ladrillos refractarios	Resisten la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse.
Lote de ladrillos	Es una cantidad determinada de ladrillos del mismo tipo, de una misma procedencia y de tamaños iguales, que se someten a inspección como conjunto unitario.
Medida de fabricación	Es la prevista para la fabricación de la baldosa.
Medida nominal	Es la utilizada para designar el producto.
Medida real	Es la resultante de la medición de las probetas hecha según la norma citada.
Muestreo al azar	Es aquel en que todas las unidades que componen un lote tiene la misma probabilidad de ser parte de la muestra.

Muestreo representativo

Este sistema de muestreo es aquel en el cual primeramente, el lote o pila de ladrillos se divide en secciones reales o imaginarias y luego se toman las muestras, completamente al azar, en cada sección. La muestra total es la suma de las muestras tomadas en cada sección del lote.

Succión

Es la diferencia absoluta entre la presión ambiente y la presión subatmosférica, expresada en pulgadas o milímetros de agua, es decir, la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante la inmersión parcial del ladrillo en un periodo corto de tiempo

RESUMEN

Hablar de control de calidad es hablar del proceso seguido por una empresa para asegurarse que sus productos o servicios cumplen con los requisitos mínimos de calidad. Por lo tanto, se hace necesario contar con un documento que proporcione de una manera rápida y sencilla los métodos de ensayo exigidos, en este caso a baldosas y ladrillos cerámicos, utilizando para ello las normas nacionales existentes así como las normas extranjeras.

Con base en lo anterior se toman en cuenta desde el inicio de este trabajo generalidades de la cerámica, para poder describir las propiedades de la materia prima y seguidamente una descripción de las propiedades tanto físicas como mecánicas que se exigen para ambos productos cerámicos.

Para las baldosas se utilizaron normas extranjeras, debido a la falta de ellas en nuestro país y para los ladrillos se utilizaron normas nacionales como extranjeras y al final se hace una síntesis de las normas extranjeras UNE, ICONTEC e IRAM.

Los ensayos que se realizaron son aquellos que en el Centro de Investigaciones de Ingeniería no se habían realizado, por pertenecer a normas extranjeras, pero es conveniente hacerlos para la determinación de ciertos cambios físicos que pueden ser manchas, exfoliaciones, desconchados, contracción y expansión, que no afectan el rendimiento mecánico de las piezas pero deslucen su aspecto concluyéndose de manera general que estos cambios se deben a la mala combinación de la materia prima y la temperatura baja de cocción.

OBJETIVOS

General

Promover la calidad en la construcción, respecto a los materiales de construcción, tales como baldosas y ladrillos cerámicos, como una guía que oriente a todos los componentes del sector de la construcción en el uso de tan importante material y a la vez tan evolucionado tecnológicamente, facilitando la toma de decisiones de los profesionales y poniendo a su alcance los avances de la normalización, de la tecnología y de la industria, tanto en materiales como en sistemas de construcción.

Específicos

- Recopilar los datos más actualizados, en lo que a normas guatemaltecas se refiere.
- Proporcionar información descriptiva de las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales.
- Facilitar la selección de estos productos mediante una evaluación de la adecuación al uso. En cada una de las fases el presente estudio proporciona información y un sistema de selección para que las decisiones sean las adecuadas, optimizando la elección y la eliminación de errores.
- Realizar los ensayos que aun no se han realizado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería, utilizando para ellos las normas internacionales.

INTRODUCCIÓN

Con este estudio se pretende reunir en un solo documento cada una de las normas guatemaltecas existentes hasta ahora respecto a baldosas y ladrillos cerámicos producidos en nuestro país específicamente, según normas del F.H.A. (Fondo de Hipotecas Aseguradas, Normas de Planificación y Construcción para casos proyectados, 1994), así como las normas COGUANOR y con esto realizar ensayos no mencionados ni practicados en Guatemala hasta ahora, acerca de la calidad de sus características físicas y mecánicas, según normas internacionales como IRAM, ASTM, UNE, CAN e ICONTEC.

Los productos cerámicos como las baldosas y ladrillos que se producen en Guatemala han llegado a tener bastante importancia en el medio de la construcción, y por ello es necesario reunir en un solo documento, las características físicas y mecánicas de estos materiales de construcción así como implementar aquellas que por alguna razón no se han tomado en cuenta dentro de las normas nacionales.

Entre las causas importantes de crear un documento que reúna las características físicas y mecánicas de estos materiales, se encuentran los cambios en la demanda de los usuarios (estudiantes e investigadores de los productos cerámicos) en especial en cuanto a la calidad y responsabilidades.

La calidad cada vez más se deberá entender como adecuación al uso, no como calidad intrínseca. Un producto inadecuado para un uso puede serlo para otro menos exigente o colocado de forma distinta. El criterio de usuario y de satisfacción de cliente debe presidir la actuación del sector.

Otro aspecto de demanda de responsabilidad por el interesado (estudiantes e investigadores de los productos cerámicos), se está convirtiendo en un factor determinante en el ejercicio de los profesionales por lo que la actuación de éstos debe contrastarse ya, no sólo con su experiencia personal sino también con documentos o sistemas que les guíen y orienten objetivamente.

Por todo lo anterior, la necesidad de información y comunicación especializada aumenta, como instrumento para enfrentarse al cambio tecnológico y para evitar fracasos, cuyo coste en todos los órdenes puede ser elevado. El presente estudio pretende ser la respuesta a esta necesidad.

1 GENERALIDADES DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS

1.1 Definición

Las baldosas cerámicas son placas de poco grosor, generalmente utilizadas para revestimiento de suelos y paredes, fabricadas a partir de composiciones de arcillas y otras materias primas inorgánicas, que se someten a molienda y/o amasado, se moldean y seguidamente son secadas y cocidas a temperatura suficiente para que adquieran establemente las propiedades requeridas.

Los pisos se consideran como unidades arquitectónicas o estructurales en sentido horizontal y con funciones específicas determinadas por el propósito arquitectónico entre las que pueden mencionarse: áreas de trabajo, de recreo, de estar, habitaciones, etc. (11-20)

Los pisos pueden estar diseñados para soportar: abrasión o desgaste, impactos, aislamientos térmicos o acústicos, incluyendo funciones decorativas u otras funciones específicas como los fabricados con materiales aislantes.

Para el uso de baldosas u otros productos cerámicos se ha aconsejado que éstos tengan un mínimo de quince días de ser fabricados, para evitar problemas de humedad y filtraciones; con el transcurso del tiempo el poro se va cerrando y adquiriendo cierta impermeabilidad, un tratamiento podrá ser, saturación de agua de cal con cemento o bien empleando productos impermeabilizantes basado en silicones o dispersiones plásticas. (11-21)

Se aconseja que todas las baldosas de barro cocido para pisos, tanto industriales como artesanales, satisfagan el factor psicológico tal como: el grado de aprobación, la apariencia, la higiene y facilidad de mantenimiento.

Esencialmente, lo más importante es seguir una metodología que va desde la selección de la materia prima para la producción de las baldosas hasta su colocación e instalación en obra, para que así se garantice una adecuada utilización, en la mezcla, control *standard* de sus dimensiones, control visual de raspaduras, fisuras, resistencia y duración prolongada.

Cuando se habla de selección de baldosas para pisos se involucra un control de calidad, para que llene los siguientes requerimientos: presentar una estructura compacta no laminada, de forma razonablemente uniforme, estar libre de grietas y esquinas o bordes despostolados, marcas de horneado, piedra grande, bolas de barro y partículas de cal pura y no deben ser suaves como resultado de un subhorneado.

Es importante que todas las industrias dedicadas a la producción de baldosas de barro cocido, tengan sus propios controles de calidad tales como; limpieza de la arcilla, humedad en la pasta, grado de plasticidad tendencia a curvaturas, etc.

2. MATERIA PRIMA

La materia prima de los productos cerámicos es la arcilla, que se define como: sedimentos geológicos, que resultan de la desintegración, por la acción atmosférica, de rocas silicosas y aluminosas. De aquí que las arcillas están formadas por silicatos de alumina hidratados como feldespatos, micas, granitos, basaltos, etc. Si los productos obtenidos de la desintegración permanecen en el mismo sitio, reciben el nombre de caolín o caolinita. Las arcillas contienen contaminaciones como: hidróxido de hierro, cuarzo, carbonato de calcio, etc., que le dan propiedades que las hacen aptas para distintos usos.

Según su composición química las arcillas se clasifican en arcillas magras y arcillas grasas. Las arcillas magras contienen un alto contenido de arena 59%, sílice 20%, alumina 10%, óxido de hierro 3.5%, carbonato de cal 0.5%, magnesia 0.1% y agua 6.9%. Las arcillas grasas contienen: sílice 60%, alumina 15%, óxido de hierro 8%, carbonato de cal 3% y pérdida por calcinación 12%. Estos porcentajes varían en los diversos depósitos de arcilla. Una arcilla con mucha grasa en sus materiales eleva el costo del producto ya que cuanto más plástica es, más desperdicios se producen debido a las contracciones que sufre en el secado. Si es muy plástica es necesario combinarla con un 50% de talpetate o tierra desengrasante.

Los materiales que atribuyen la presencia de la tierra que se pretende trabajar en cantidades de poco volumen, son el óxido de hierro que puede oscilar entre un 2% a 15%, la magnesia 1% y el carbonato de calcio que es el enemigo principal de la industria cerámica, el cual se aconseja que no debe ser mayor de 1%.

Otra causa que interviene en la aparición de una falla es la contracción, cuando una arcilla se contrae más del 7% hay riesgo que las piezas se fisuren o se deformen en el secado; en tal caso, es recomendable usar tierras magras exentas de cal; cuando se denota una contracción superior al 7% debe añadirseles desengrasantes. (1-5)

La evaporación rápida produce agrietamiento en la masa debido a que en su parte central no se seca con la misma velocidad que la superficie y ésta se contrae más que aquella agrietándose la masa hasta quedar reducida a pequeños fragmentos. Las arcillas sufren contracción por desecación del agua de amasado y también está en función del grado de plasticidad. (18-24)

Para Identificar las arcillas grasas, basta con humedecerlas y formar con ellas una bola con la misma mano; si al oprimir esta bola hasta dejarla a la mitad del diámetro original no se produce ninguna grieta o hendidura profunda, indica que la arcilla es suficientemente plástica y podrá ser tratada con la maquinaria normal en las ladrilleras. Otra forma es amasar la arcilla dándole forma de cilindro de un diámetro cualquiera, se procede a estirarla y se observará si disminuye de diámetro antes de romperse. (1-7)

Lo más perjudicial para la arcilla es el alto contenido de carbonato de calcio, una prueba aconsejable para verificar la conducta de la cal inmediatamente de la cocción, consiste en fusionar y moldear el residuo del lavado de la arcilla con un 20% de arcilla y después de secado se cuece a diversas temperaturas altas. Las pruebas alcanzadas se someten a la acción del aire húmedo, si al cabo de unos ocho días no se presentan grietas ni saltan trozos de la pieza, entonces la cal no es perjudicial. (1-8)

A continuación se sugieren algunos ensayos, los cuales no han sido normalizados, pero son recomendables.

2.1 Plasticidad

Tiene por objeto determinar el porcentaje de agua contenida en la arcilla.

Procedimiento: se moldea una bola de arcilla de unos 5 centímetros de diámetro, reduciéndola hasta un tamaño de 2.5 centímetros sin que se produzcan grietas.

También se puede hacer el ensayo moldeando un cilindro de 1.0 centímetros de diámetro y 10 centímetros de longitud, luego moldearlo; se dobla en forma circular sin que se agriete o se rompa el cilindro. La cantidad de agua para producir la condición de plasticidad varía entre 15% a 35%. En los dos casos anteriores, no debe despegarse de las manos durante el moldeo.

Las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos, pueden ser estudiadas aproximadamente, por medio de pruebas simples, las más usuales se denominan: "Límites de consistencia o de Atterberg. Un suelo arcilloso con un alto contenido de agua tiende a ser como un líquido, al perder agua, va aumentando su resistencia hasta llegar a tener un estado plástico fácilmente flexible; al continuar el secado llega a adquirir un estado semisólido, al continuar la pérdida de agua pasa al estado sólido.

Los cambios de estado se producen gradualmente; entre ellos se denominan: límite líquido, límite plástico y límite de contracción.

Tabla I. Ensayos de laboratorio para determinar los límites

Nombre del ensayo	Norma
Límite Líquido L.L.	Norma AASHO T-89
Límite Plástico L.P.	Norma AASHO T- 90

De estos límites se pueden determinar los siguientes índices

Índice de plasticidad	$IP = L.L. - L.P.$	Norma AASHO T-91
Índice de contracción	$IC = L.P. - L.C.$	
Índice de tenacidad	$I = I.P. / I.C.$	I.C. = índice de escurrimiento.

El índice de escurrimiento es obtenido de la pendiente de la curva de escurrimiento. (20-21) Los elementos que intervienen para clasificar un suelo para un grupo determinado son: su grado de plasticidad y el porcentaje de material fino que pasa el tamiz núm. 200. Según variación de los índices.

Variación de los índices de escurrimiento

Suelo	índice de grupo
Granular	0 a 4
Limoso	8 a 12
Arcilloso	11 a 20

Estos índices no han sido utilizados como parámetros de referencia.

2.2 Permeabilidad

Esta prueba sirve para determinar la velocidad de absorción de agua en porcentaje de peso.

Equipo: un recipiente con un depósito regulador del nivel de agua.

Procedimiento: con una cantidad de arcilla se hace una placa de unos 10 centímetros por lado y con espesor de 1.0 centímetro; esta placa se sumerge en un recipiente con agua, obteniéndose la velocidad de absorción por minuto en porcentaje por peso.

2.3 Baldosas que se elaboran en nuestro medio

Las baldosas de tipo industrial normalmente son dobles (ver figura 1), que tienen dimensiones en cms. de 5 x 25 x 25; 5 x 30 x 30 en alto x ancho x largo respectivamente, las baldosas de tipo artesanal son simples (ver figura 2) que tienen dimensiones de 2.5 x 25 x 25; 2.5 x 30 x 30 alto x ancho x largo respectivamente.

Figura 1. Baldosa doble

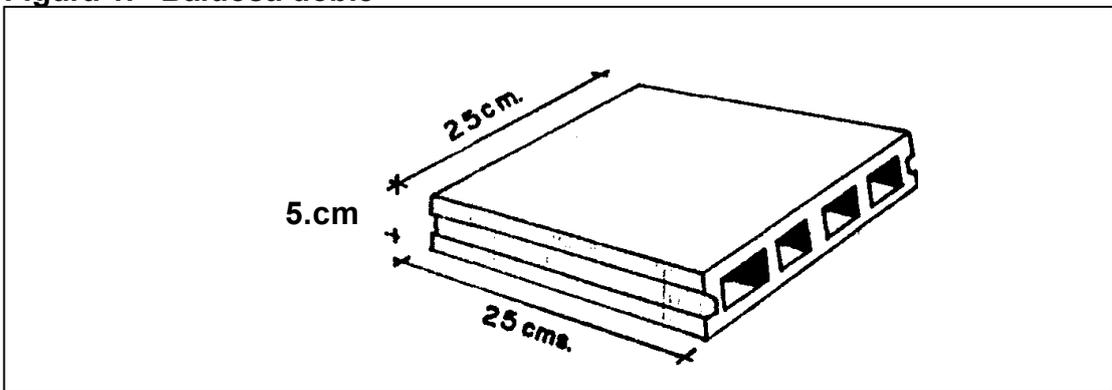
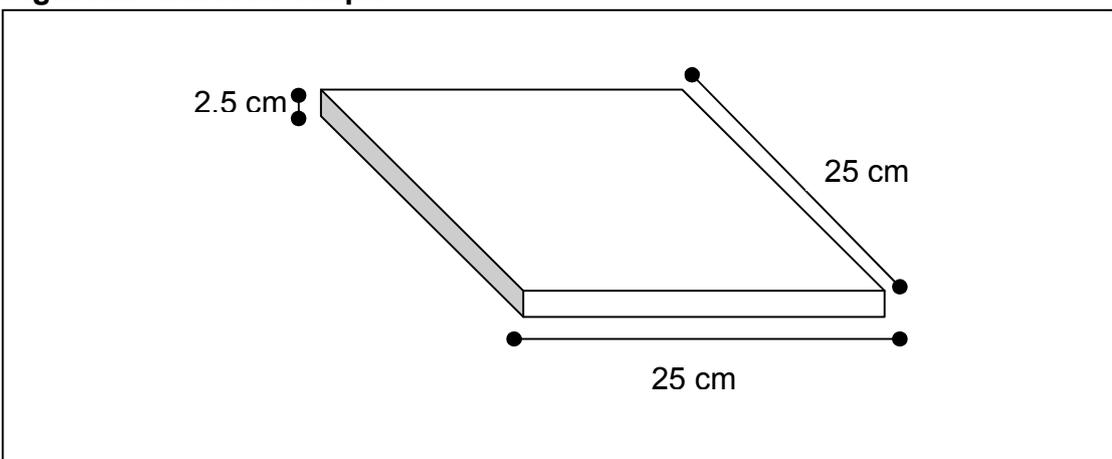


Figura 2. Baldosa simple



3. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LAS BALDOSAS

3.1 Características físicas

Forma y dimensiones: Según la norma del F.H.A. actual, se incluyen las baldosas de forma prismática recta de 20x20, 25x25, 30x30 (cms.) Por ser las de uso más corriente de forma que excluye otros tipos de baldosas que se pueden elaborar.

Absorción de agua: Es el proceso de atraer agua hacia los poros y conductos capilares. La absorción se utiliza como indicador de resistencia a la intemperie. Frecuentemente, en los productos de barro cocido, se toma como una medida de la porosidad, la cual se considera es indicativa de: posible filtración y tendencia a la desintegración.

Cuando las piezas húmedas son sometidas a congelación y descongelación alternas; en general, no puede esperarse que una muestra porosa sea tan resistente como otra más densa a la acción de las cargas o tan tenaz.

Desgaste: La remoción de partículas sólidas por rayado o indentación, provocada por un cuerpo más duro que la superficie desgastada, se conoce como desgaste abrasivo. Las baldosas sufren este tipo de desgaste debido a acciones físico-mecánicas y al mal trato a que están sujetas una vez colocadas en la obra. (19-17)

Resistencia al deslizamiento: La fricción es la fuerza resistente al deslizamiento tangente a la superficie entre dos cuerpos, que tienden a moverse uno sobre el otro.

La fuerza para iniciar el movimiento se llama fricción estática y la necesaria para mantener el movimiento se llama fricción cinética.

El coeficiente de fricción es la relación entre la fuerza horizontal a la carga normal.

En el momento de efectuar el movimiento, se producen efectos de hincamiento o indentación y de entrelazamiento de irregularidades, de modo que la fuerza total durante el deslizamiento es:

$$F_t = F_s + P + I$$

donde:

F_t = Fuerza total resistente al deslizamiento.

F_s = Fuerza de fricción. S

P = Efecto de indentación.

I = Efecto de entrelazamiento de irregularidades.

El efecto de entrelazamiento de irregularidades (I) es bajo y es más intenso el efecto de indentación (P) depende de la diferencia de dureza en las superficies. El efecto de indentación (P) disminuye con el pulido, y en el movimiento de deslizamiento no se toma en cuenta. (19-21)

3.2 Propiedades mecánicas

3.2.1 Resistencia al impacto

Este tipo de ensayo se realiza para establecer si la baldosa es capaz de resistir los posibles golpes que pueda sufrir una vez instalada en obra. La experiencia indica que la resistencia de un material bajo carga depende de la forma de aplicación de la carga. Un elemento que normalmente resiste una carga estática constante sin fallar, falla bajo la aplicación de esta misma en forma repetida o súbita.

La magnitud de la carga aplicada lentamente y que produce el mismo esfuerzo que la carga súbitamente aplicada o de impacto, se llama carga estática equivalente y la relación de ésta y la súbitamente aplicada o de impacto se denomina factor de carga.

Si las cargas aplicadas tienen velocidad inicial, su efecto es mayor que la carga súbitamente aplicada y como resultado del impacto una onda de deformación pasa a través del material con velocidad del sonido, reflejándose y superponiéndose dentro del material, causando altos valores instantáneos de deformación. El daño que puedan causar estos valores instantáneos aún no es bien conocido, pero un material puede resistir sin fallar esfuerzos instantáneos mayores que los que causarían falla bajo carga estática. (12-25)

3.2.2 Resistencia a la flexión

Un piso se encuentra bajo efecto de flexión, cuando actúan fuerzas sobre él que cansan pandeo o doblado en forma tal que induzcan compresión de una parte de la sección transversal y tensión en la restante. Los ensayos de flexión en baldosas se efectúan para determinar:

- La resistencia y rigidez o flexibilidad a flexión de las baldosas para fines de control de calidad.
- Evaluación del comportamiento real de las baldosas a escala natural bajo la acción de cargas flexionantes.

3.3 Normas y especificaciones técnicas consultadas para la realización de los ensayos aplicables a las baldosas cerámicas

Las pruebas aplicables a los suelos se clasifican de la siguiente manera:

- Para clasificación general de los suelos
- Para determinar la resistencia del suelo
- Para el control de la construcción

3.3.1 Análisis granulométrico

Consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. El análisis se hace en dos etapas.

- Por medio de una serie de tamices para tamaños grandes y medianos de las partículas, o sea, las llamadas granulometrías: gruesa y fina.
- Por procesos húmedos para finos (material que pasa el tamiz núm. 200.)

En el análisis por tamices, cuando los finos consisten, esencialmente en arcillas, el análisis se hace con material al que se le quitan los finos por medio de lavado.

Con los tamices se hace una separación de partículas desde 0.074 mm. de diámetro (malla núm. 200) hasta los granos mayores de 2" (5 cms.) La cantidad de suelo requerido para el ensayo de la fracción que pasa la malla núm. 4 (granulometría fina), depende de la cantidad de finos que contenga.

Suelos arcillosos y limosos	200 a 500 gr
Suelos arenosos	500 a 1000 gr

Referencia a este tipo de ensayo: ASTM C33 y AASHO T27

El análisis mecánico húmedo se basa en el desempeño del material granular en suspensión, dentro de un líquido al sedimentarse. Los métodos de análisis húmedo consisten, esencialmente, en una serie de mediciones en la suspensión del suelo, efectuadas durante el proceso de sedimentación.

De la fórmula se puede obtener la velocidad de sedimentación de las partículas, la cual está dada:

$$V_2 = \frac{2gr^2(Da - Dw)}{N} = \frac{H}{T}$$

Donde:

v = velocidad de caída de las partículas (cm/seg),

g = aceleración de la gravedad (cm/seg),

r = radio de la esfera (cm.),

Da = densidad absoluta del material (gr/cm),

Dw = densidad absoluta del agua (gr/cm),

N = viscosidad del agua en poises,

H = altura de caída de la esfera (cm),

T = tiempo (seg).

Con el agua a una temperatura de 20°C y con esferas de densidad absoluta de 2.65 gr/cm (valor medio entre los minerales que se encuentran en el suelo) Por lo que la fórmula queda: **V = 35.97 r**

Referencia a este ensayo: AASHO T-88 y ASTM D-422.

3.3.2 Muestreo e inspección

La norma F.H.A. actual, considera que los ensayos se comprueban sobre tres piezas por millar; para efectos de estudio se obtienen tres piezas o más por cada lote producido por jornada de trabajo.

Tabla II. Normas que hacen referencia al sistema por muestreo

NORMA	FRACCIÓN INICIAL	FRACCIÓN ADICIONAL	TAMAÑO DE LA MUESTRA DE LA FRACCIÓN INICIAL DEL LOTE	POR FRACCIÓN ADICIONAL
BS	100	200	3	+2
UNE 41 008	1000	1000	20	+5
IRAM Oficial	1000 a 10000		33	

Los que usan los modernos procedimientos de muestreo de aceptación, reconocen ciertas ventajas psicológicas al permitir, cuando menos, una unidad defectuosa por muestra. (19 -12)

3.3.3 Inspección visual

Conforme a las normas la superficie debe estar libre de agrietamientos visibles a la vista de un hombre de estatura estándar cuando se hallan secas, así como también estar exentas de eflorescencias, manchas o costras.

La norma IRAM oficial, define la inspección de la siguiente manera: se rechazarán las que muestren fracturas o imperfecciones en su forma o colorido.

La norma BS 4131; 1973, define la inspección: antes del ensayo, cada baldosa muestreada debe ser ágilmente examinada visualmente por daño. Cualquier baldosa que sea encontrada dañada debe ser rechazada y reemplazada por otra baldosa muestreada del lote a analizar.

3.3.4 Determinación de las dimensiones y masa

Normas consultadas: UNE 41 008 y CAN 2-75-1M77

Consiste en verificar la medición individual de la muestra para determinar el largo, ancho, espesor y masa real de las baldosas, por medio del promedio aritmético de las medidas de cada uno de estos parámetros.

Equipo: Para este ensayo es necesario una cinta métrica con escala graduada en cm y aproximación al mm, calibrador de 0.1 mm y balanza con aproximación de 1.0 gr.

Procedimiento: se toman las baldosas de muestra secas, las cuales deben ser representativas; se mide la longitud de los lados, el promedio de estos valores será el largo y el ancho. Se mide el espesor en los puntos medios de las longitudes de los lados y se anotan los valores, el promedio es el espesor. Para la expresión de los resultados se redondean a dos decimales.

3.3.5 Forma y dimensiones

La norma F.H.A. actual, incluye solamente las baldosas de forma prismática de: 20x20, 25x25, y 30x30 (cm). Las normas que también hacen referencia a la forma y dimensiones de las baldosas son: UNE 41 008; IRAM oficial 1522 N.I.O.; ICONTEC 1085.

Su dimensión real de acuerdo a las normas ANSI 137.1 permite una variación del $\pm 3\%$.

Según UNE-EN ISO 10545-2 (Características dimensionales y aspecto superficial de las baldosas cerámicas), respecto a sus dimensiones se describe así.

El ensayo se realiza siguiendo el método explicado en la norma UNE-EN ISO 10545-2 que se basa en medir sobre una muestra de diez baldosas, la longitud, anchura, grosor, rectitud de lados, ortogonalidad y planitud de superficie (curvatura central, curvatura lateral y alabeo). A estos efectos es útil tener presente las siguientes definiciones.

- Medida nominal: es la utilizada para designar el producto
- Medida de fabricación: es la prevista para la fabricación de la baldosa
- Medida real: es la resultante de la medición de las probetas hecha según la norma citada.
- Calibre: cada uno de los intervalos, usualmente tres y de igual amplitud, que el fabricante define para agrupar las baldosas de una misma medida nominal cuyas diferencias de medidas reales sean prácticamente irrelevantes.

3.3.6 Determinación de la expansión por humedad usando agua hirviendo

El presente ensayo se realiza de acuerdo con el método descrito en la norma UNE-EN ISO 10545-10 baldosas cerámicas. Determinación de la expansión por humedad usando agua hirviendo, que tiene como objetivo la determinación de la expansión total, que es el producto de las diferencias de temperatura de quema de las unidades que consiste en determinar la variación de longitud de 5 probetas, después de un recocido a 550°C y un tratamiento posterior con agua hirviendo durante 24 horas.

En forma general, los resultados de expansión o contracción de materiales se presentan con una aproximación de 0.00%, que está sobre de la precisión del ensayo propuesto.

Procedimiento: primero se permite el corte si no cabe la muestra, con dimensiones mínimas de 100x35mm con el espesor de la baldosa. Después se miden con un calibre (Lo) con precisión de 0,1 mm. Luego se hace un recocido (2 horas a $550 \pm 15^\circ\text{C}$) Posteriormente, se introducen en un baño de agua hirviendo a presión atmosférica durante 24 horas. Se dejan enfriar a temperatura ambiente y se vuelven a medir (L1) los cálculos de contracción o expansión se hace por medio de la siguiente ecuación.

$$C (\%) = \frac{\Delta L * 100}{G}$$

Tabla III. Resumen de las características de la norma ISO 10545-10

Descripción	Características	Observaciones
Equipo de medida: Precisión	0.01mm	Con corrección externa en barra de referencia
Tipo		Marco metálico
Tamaño de la muestra	5 baldosas completas	
Preparación del espécimen	Corte permitido si no cabe la muestra, con dimensiones mínimas de 100 x 35mm con el espesor de la baldosa.	Para baldosas extruídas se deben realizar los cortes en dirección de la extrusión.
Procedimiento de ensayo	Recocido (2 horas a $550 \pm 15^\circ\text{C}$) y tratamiento en agua hirviendo a presión atmosférica por 24h	
Ambiente	Medidas realizadas a temperatura ambiente.	No especifica rangos de variación
Cálculos	Sólo expansión total	

3.3.7 Determinación de absorción de agua

Normas de referencia al ensayo de absorción de agua: ASTM C 67 y C 87, ICONTEC 1085, UNE 7 008, BS 4131:1973, IRAM OFICIAL 1522 M.I.O.

El siguiente procedimiento está de acuerdo con la norma ASTM C 67

Equipo: balanza con precisión de 0.1 gr. y un horno de secado.

Procedimiento: se instalan las muestras las cuales pueden ser pedazos rotos con anterioridad, debiendo estar nítida, seca y a temperatura ambiente. Se meten al horno a una temperatura de 110° C a 115° C durante 24 horas, luego se sacan permitiendo que lleguen a temperatura ambiente, se pesan y se registra su masa. Se procede a colocarlas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas; posteriormente se sacan, se dejan drenar un minuto y se elimina el agua sobrante con un paño húmedo, se pesan y se registra su peso.

Los resultados se expresan según la fórmula del coeficiente de absorción de agua que se expresa en porcentaje.

$$C_a = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

donde:

C_a = coeficiente de absorción de agua,

m_h . = masa de la muestra luego de pasar 24 horas en agua.

m_s = masa de la muestra luego de pasar 24 horas en el horno.

3.3.8 Ensayo para determinar la permeabilidad de las baldosas

De acuerdo con el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, sobre la muestra de sección circular de 7 cm de diámetro y espesor uniforme, se aplica una presión de 50 cm de agua que se mantienen constante durante 15 minutos y que se aumenta de 50 cm cada 5 minutos; serán impermeables bajo una presión equivalente a una columna de agua de 15 m (150 Kpa)

La Norma UNE 7 C 3351, indica un ensayo similar con una presión 0.5 Kg/cm² (50 Kpa) por un tiempo de 48 horas.

3.3.9 Ensayo para la determinación del agrietamiento en autoclave

El principio del método es someter las muestras a una presión de vapor uniforme durante un tiempo determinado, dichas piezas deben ser piezas de 100 mm x 100 mm con una tolerancia de ± 5 mm.

Procedimiento: se colocarán tres muestras de baldosa en un autoclave y se les somete a una presión de 1000 ± 50 Kpa en vapor saturado durante una hora, se disminuye rápidamente la presión abriendo la válvula de escape y permitiendo a las muestras enfriarse hasta la temperatura ambiente en el autoclave.

Se inspecciona la muestra por agrietamiento con iluminación oblicua y solución colorante para ayudar en la detección y examen de los defectos; éstos solamente se consideran los visibles a simple vista.

El procedimiento anterior se describe según las normas CAN 2-75-1M77. y UNE 67-036.

3.3.10 Determinación de la resistencia al desgaste o abrasión

Normas que se refieren a este tipo de ensayo: UNE 7 015 r, ASTM C-241 y DIN 52 108. A continuación se detalla el procedimiento del ensayo de acuerdo con la norma internacional DIN 52 108.

Equipo: máquina Boehme equipada con un disco horizontal de hierro colado rotativo respecto de un eje vertical y un sistema de palanca, calibrador para medir la variación en el espesor del espécimen con aproximación de 0.1 mm y balanza que aprecie 0.1 gr.

3.3.10.1 Preparación y conservación de las muestras

Deberán cortarse especímenes de 50 cm², con una tolerancia de $\pm 2\%$ en el momento del ensayo; deberán estar limpios, secos y a la temperatura ambiente.

Procedimiento: se miden los especímenes y se obtiene su peso, se coloca luego la probeta en el sostenedor de la máquina, con la superficie de uso del piso en contacto con la superficie del disco esmerilador y se aplica una presión de 0.6 Kg/cm².

Se pesan varias porciones de material abrasivo de 20 gr. cada uno, las que se usarán cada 22 vueltas de recorrido del disco. Se coloca el material abrasivo sobre el disco a lo largo del recorrido de la probeta. Al completar 22 vueltas se gira el espécimen 90 grados respecto de su eje vertical, se retira el material abrasivo y el material desgastado, y se renueva; a las 88 revoluciones, equivalente a un recorrido de 121.6 m se termina un ciclo; se limpia, se pesa y se mide el espécimen. Este procedimiento se repetirá varias veces, según el tipo de baldosa ensayada hasta completar el recorrido.

Calcular el desgaste en cm^3/cm^2 de superficie, para este caso los resultados se expresarán como volumen desgastado por unidad de área en $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$ o sea por pérdida de espesor en mm. La diferencia de espesores por el área de contacto da el volumen máximo desgastado.

3.3.11 Determinación de la resistencia al impacto

El método utilizado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería, es similar a los métodos de ensayo utilizados por las normas consultadas, con la diferencia, en la variación de la masa utilizada.

Tabla IV. Normas que hacen referencia a este tipo de ensayo

NORMA	MASA
FHA actual	2.00 KG
INCONTEC 1085	0.59 KG
IRAM OFICIAL 1522 N.I.O.	0.25 KG
UNE 41 008	1.00 KG

Se dejar caer una masa sobre la baldosa, repetidas veces, aumentando la altura de caída de centímetro en centímetro, hasta que se produce la ruptura

Procedimiento

- Medir la probeta con el calibrador micrométrico, usar 5 probetas identificadas.
- Colocar la baldosa sobre un colchón de arena de 2.5 cm de espesor de altura uniforme en la base del aparato de impacto. (Máquina de tenacidad Page (ASTM D3)) de manera que la masa golpee en su centro.
- Levantar el peso de 2 kg y dejarlo caer a alturas sucesivas de 1 cm hasta lograr la fractura de la baldosa.
- Anotar el impacto como altura de caída que causa la falla.
- Presentar los resultados como el promedio aritmético de éstos.

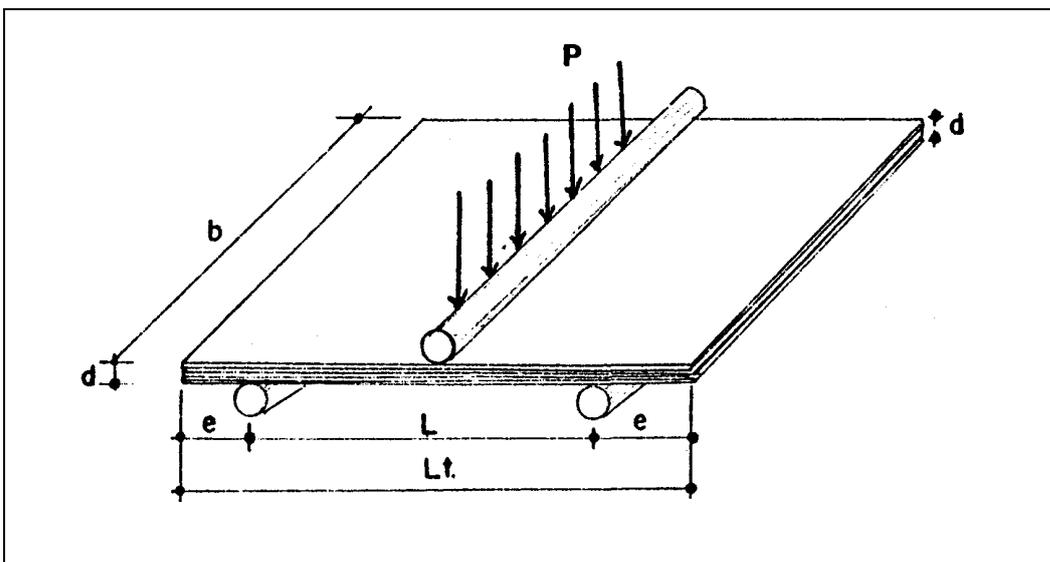
3.3.12 Determinación de la resistencia a la flexión

Consiste en aplicarle a las probetas a una carga de flexión. La carga se emplea al centro de la luz, normal a la superficie de carga de la baldosa, utilizando apoyos diseñados anticipadamente (estandarizados) para asegurar que las fuerzas aplicadas a la baldosa sean verticales y aplicadas sin excentricidad.

La dirección de las reacciones deberá ser paralela a la dirección de la carga aplicada todo el tiempo durante el ensayo. La carga será aplicada de manera uniforme, para evitar choque. El aparato de flexión constará de dos apoyos paralelos semicilíndricos de 2 cm de radio y de un semicilindro (e) de radio, ver figura 3.

Procedimiento: la probeta es centrada sobre los apoyos; el sistema de aplicación de carga se colocará en la superficie al centro de la línea de apoyos hasta que se obtiene un contacto completo.

Figura 3. Ensayo de flexión



Expresión de resultados: se expresa en función del módulo de ruptura que se obtiene mediante la aplicación de la fórmula:

$$S = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

donde

S = módulo de ruptura en kg/cm²

P = carga aplicada en kg.

L = luz libre entre apoyos en cm,

b = ancho de la baldosa en cm,

d = espesor de la baldosa en cm.

Normas que hacen referencia a este tipo de ensayo

- ASTM C 293
- BS 4131:1973
- UNE 7 034
- IRAM OFICIAL 1522 N.I.O.
- ICONTEC 1085

3.3.13 Determinación de la resistencia al deslizamiento

El principio del método consiste en hacer que una masa recorra cierta distancia sobre las baldosas de piso en un tiempo determinado, se utilizará un dinamómetro de 20 kg. capaz de registrar una aproximación de 0.5 kg.

Se cubrirá la superficie de un bloque con cuero curtido y se cubrirá la superficie de otro bloque con hule vulcanizado que tenga una dureza de 60 a 80 durómetro *shore*. Los bloques serán de 5 x 10 cm de área superficial y una masa de 15.3 kg. que funcionaran como bloques de fricción.

Procedimiento: las baldosas deberán estar limpias y a temperatura ambiente, se halan los bloques de fricción de cuero y caucho a través del panel de baldosas preparadas anteriormente, para una distancia de por lo menos, 150 mm a una velocidad constante de 500 mm/min, anotando la fuerza disponible requerida en *newtons*.

El ensayo se ejecuta primero con las superficies de contacto secas, luego húmedas con una solución de 4% de cloruro de sodio en agua, se hacen 4 recorridos secos y 4 recorridos húmedos.

Cada recorrido se hará en una parte sin usar de la superficie del panel de baldosas. Para la expresión de resultados se promedia cada juego de resultados de hale, se calcula el factor de fricción de deslizamiento dividiendo la fuerza de hale promedio entre 9.80506 que es la fuerza gravitacional del bloque de fricción. (19-62)

El procedimiento anterior se describe según la norma de *National Standards of Canada Tile, CAN-2-75-1M77 Ceramic*.

4. LADRILLOS CERÁMICOS

4.1 Definición

El ladrillo cerámico es un bloque de arcilla o cerámica cocida utilizado como unidad de mampostería. Es la unidad hecha básicamente de barro o arcilla con o sin adición de otros materiales, moldeada o extruida en forma rectangular, con o sin agujeros, cavidades, perforaciones y pueden secarse al sol, pero se acostumbra secarlos al horno (endurecidos mediante tratamientos a altas temperaturas). Poseen un precio relativamente bajo en comparación con otros productos de mampostería, toleran la humedad y el calor y pueden mantenerse en algunos casos más que la piedra. Su color varía dependiendo de las arcillas empleadas y sus proporciones cambian de acuerdo a las tradiciones arquitectónicas.

Algunos ladrillos están hechos de arcillas resistentes al fuego para construir chimeneas y hornos. Otros están hechos con vidrio o se someten a procesos de vitrificación. Los ladrillos se pueden fabricar de diferentes formas, dependiendo de la manera en que se vayan a colocar.

Ladrillos elaborados a máquina: son ladrillos producidos mediante procesos industriales con máquinas que amasan, moldean y prensan al vacío la masa de arcilla.

Ladrillos elaborados a mano: son ladrillos producidos por medios artesanales amasados y moldeados a mano o con maquinaria elemental que no prensa la pasta de arcilla.

4.4 Tipos de ladrillos

Macizos: son los ladrillos que se producen de forma artesanal amasados y moldeados a mano con maquinaria rudimentaria que no comprime la pasta de arcilla. También existen prensados al vacío de muy altas resistencias.

Perforados: son ladrillos hechos a máquina con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga y cuya área neta en esas caras será mayor al 75% del área bruta.

Tubulares: son ladrillos hechos a máquina con perforaciones perpendiculares a las caras que soportan la carga y cuya área neta en esas caras está entre 60% y 75% del área bruta.

4.3 Selección de la materia prima

La materia prima de un ladrillo es la arcilla, la cual debe tener la siguiente composición química para ser apta para un ladrillo

- Contenido de álcalis y ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia con un porcentaje mayor.
- Sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%. Igual al anterior produce eflorescencias con un porcentaje mayor
- Piritas (sulfuros de hierro) Su exceso puede producir una deposición sulfúrica en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cortaduras sobre el material.
- Contenido de alúmina: 20% - 30%: imparte plasticidad a la arcilla y en exceso provoca contracciones altas en el secado.

- Contenido de sílice: 50% - 60%: da baja contracción, previene el agrietamiento, distribuye formas uniformes al ladrillo. asociada con la durabilidad. su exceso disminuye la cohesión entre partículas.
- Oxido de hierro: imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la función de la arena. su exceso produce una coloración azul oscura (generalmente no ocasiona otra molestia).
- Cal : debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm) o sea cal viva más agua. es un medio que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. si hay exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.
- MgO : imparte coloración amarilla a la cerámica. ayuda a decrecer la deformación. su exceso produce deterioro por expansión de la superficie.

Asimismo la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

4.4 Preparación de la materia prima

Ajuste granulométrico: dependiendo de la finura de la arcilla ésta tendrá mayor o menor grado de plasticidad. El ajuste se hace por medios mecánicos.

Ajuste por contracción: consiste en agregar arena o arcillas no plásticas.

Ajustes por humedad: se realiza teniendo en cuenta las especificaciones dadas por los límites de Atterberg.

Mezcla homogénea: se debe lograr una misma composición en toda la matriz ya sea por bestia, por batidora, o por otros procesos mecánicos.

Moldeo: depende del proceso de producción, ya sea con equipo de extrusión, en donde se utiliza una boquilla para impartir la forma del ladrillo, o por moldeo manual, en donde se utiliza un molde para dar la forma a la arcilla.

Secado: tiene por objeto eliminar la humedad libre y parte de la combinada por exposición al ambiente, lo cual se hace así por costos, velocidad de contracción, lo que da una mejor calidad.

Cocción: proceso mediante el cual se somete al fuego la arcilla moldeada y seca, para producir una sinterización intensa de la arcilla, y una vitrificación adecuada. La cocción se realiza en distintos tipos de hornos.

Hornos discontinuos: estos estarán fríos cuando se coloquen los productos a cocer, a continuación se eleva la temperatura progresivamente hasta obtener el punto óptimo previsto para cada pasta, y luego se va enfriando lentamente.

Hornos continuos: la temperatura para la cocción siempre estará presente, para la cocción de los productos se deslizan éstos para la zona de fuego (hornos túnel) o, por el contrario el fuego avanza encontrándose los productos estáticos (hornos hoffmann). Sea cual sea el sistema están constituidos por tres zonas caloríficas; precalentamiento, cocción y enfriamiento.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LADRILLOS CERÁMICOS

5.1 Síntesis de normas COGUANOR

La siguiente síntesis esta basado en las normas de la Comisión Guatemalteca de Normas, (COGUANOR) NGO 41 022; NGO 41 023; NGO 41 024 h2; NGO 41 024 h3; NGO 41 024 h4; NGO 41 024 h5, las que se resume de manera esencial.

Definiciones

Ladrillos cerámicos: es la unidad hecha básicamente de barro o arcilla con o sin adición de otros materiales, moldeada o extruida en forma rectangular, con o sin agujeros, cavidades o perforaciones, y endurecida por medio de fuego hasta fusión incipiente.

NOTA: se consideran fuera de norma los ladrillos con un área menor del 60% con respecto al área bruta

Clasificación y designación: los ladrillos se clasificarán en tipos, grados y clases según se indica en la tabla V, obtenidas de la norma COGUANOR NGO 41 22.

Dimensiones: las dimensiones más usuales de los ladrillos se presentan en la tabla VI y la tolerancia a esas dimensiones será de ± 3 mm para ladrillos de grado 1 y de ± 4 mm para los grados 2 y 3

Tabla V. Clasificación, designación y usos de los ladrillos de barro cocido

Tipos	Grados	Clases	Usos
Tipo A, ladrillos hechos a máquina	1	Clase P o perforado	Paredes con carga elevada, expuestas en sus dos caras, y clima lluvioso fuerte.
	2	Clase P o perforado clase T, o tubular	Paredes con carga moderada, expuestas en una cara y clima lluvioso moderado.
	3	Clase P o perforado clase T, o tubular	Paredes con carga baja, expuestas en una cara, y clima con poca lluvia.
Tipo B, ladrillos hechos a mano	3	Clase M, o macizo	Paredes con carga baja, expuestas en una cara, y clima con poca lluvia.

Tabla VI. Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido.

Tipo	Clase	Dimensiones en cm		
		Largo	Ancho	Espesor
Tipo A, ladrillos hechos a máquina	Clase P o perforado	23	11	6.5 *
		23	14	6.5 *
	Clase T o tubular	23	11	6.5 *
		23	14	6.5 *
		29	11	6.5 *
		29	14	6.5 *
		29	11	9
		29	14	9
		29	14	11
		23	11	11
		29	14	14
		23	23	11
Tipo B, ladrillos hechos a mano	Clase T, o tubular	23	11	6.5 *
		23	14	6.5 *

(*) Dimensiones más usadas, el resto se fabrica a pedido especial. (2-3)

5.2 Toma de muestras (según NGO 41 023)

Tamaño de la muestra: estará en relación con el tamaño del lote, según se indica en la tabla VII

Tabla VII. Tamaño de la muestra

Tamaño del lote en unidades	Tamaño de la muestra total en unidades
10 000 a menos	20
10 001 a 100 000	40
Mayores de 100 000	20 por cada 50 000 ó fracción

Para la toma de muestras se divide el número de ladrillos del lote entre el número de ladrillos requeridos para la muestra total, y del número que resulte será el espaciamiento que se dejará entre la toma de cada ladrillo.

Número de ladrillos para cada ensayo: los ensayos que se verificarán y el número de ladrillos para cada ensayo, para el caso que se tenga la muestra total más pequeña (20 unidades), son las que se indican a continuación.

Tabla VIII. Número de especímenes para cada ensayo

ENSAYO	UNIDADES
Determinación de la forma y dimensiones	10
Determinación de la absorción de agua	5
Determinación de la succión	5
Determinación de la adherencia	9
Determinación de la resistencia a la compresión	5

En 10 de los especímenes que componen la muestra se determina la forma y dimensiones, después se destinan 5 de ladrillos para el ensayo de resistencia a la compresión y los otros 5 para ensayos de absorción y succión. De los ladrillos restantes, 9 se destinan a las pruebas de adherencia.

En este caso se tomó en consideración la norma: ASTM C67-73 (*American National Standard A 82.1-1974 standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile (3-3)*)

5.3 Determinación de la forma y dimensiones (NGO 41 024 h1)

El objeto de la presente norma consiste en establecer los métodos para determinar las dimensiones reales y los requisitos de forma de los ladrillos cerámicos.

Comprobación de la forma: consiste en evidenciar la planicidad de las caras, la rectitud de las aristas y la desviación de los ángulos exteriores con respecto al ángulo recto.

Comprobación de las dimensiones: consiste en efectuar la medición individual de las caras para determinar el largo, el ancho, y el espesor real de los ladrillos, mediante un promedio aritmético en cada una de las medidas.

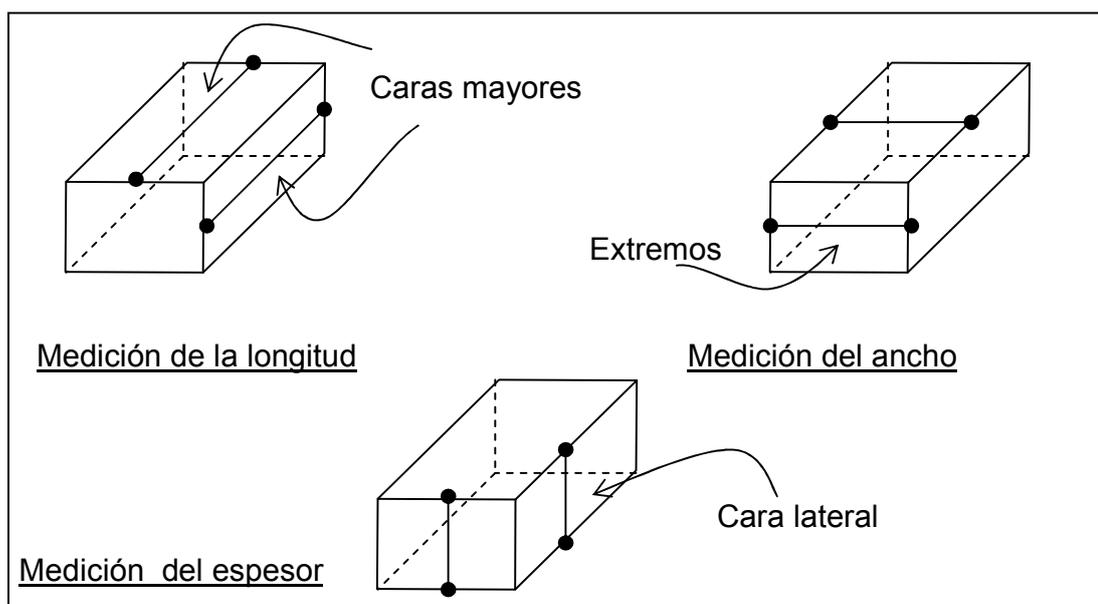
Nota: las características físicas y funcionales de los elementos inspeccionados no justifican un grado de precisión de las dimensiones mayor que la aproximación a 1mm.

Procedimiento: se utilizan 10 ladrillos enteros y secos tal y como se reciben, los cuales deben ser representativos del lote, y ser muestreados de acuerdo con la norma NGO 41 0 23.

5.3.1 Determinación de las dimensiones

- Se miden la longitud de las caras mayores y de las caras laterales en los puntos medios de cada arista, se anotan los 4 valores, redondeados al milímetro más cercano. El promedio de estos valores, se anota como el largo del ladrillo; ver figura 4.
- De igual manera, se mide la longitud de los 2 extremos y el ancho de las 2 caras mayores del ladrillo, en el punto medio de cada arista y se anotan los valores de las lecturas redondeadas al milímetro más cercano. El promedio de estos valores, se anota como el ancho del ladrillo; ver figura 4.
- El espesor se mide en los puntos medios de las aristas de las caras laterales y los extremos y se anotan los 4 valores de las lecturas redondeadas al milímetro más cercano. El promedio de estos valores se anota como el espesor del ladrillo; ver figura 4. (4-2)

Figura 4. Puntos de medición de las dimensiones



5.3.2 Comprobación de la forma

Planicidad: cuando la combadura de la cara es cóncava, se coloca la regla metálica diagonalmente o a lo largo de la superficie a ser medida y se selecciona el punto que se aparte más de la recta. Se introduce entonces la cuña metálica y se mide la combadura cóncava redondeada al milímetro más cercano. Cuando la combadura es convexa se coloca la superficie convexa del ladrillo sobre la superficie plana, y con las esquinas aproximadamente equidistantes del plano. Se toma una medida con la cuña metálica en cada una de las esquinas del ladrillo y el promedio de las 4 medidas se anota como la combadura convexa.

Rectitud de las aristas: Si la desviación de las aristas es cóncava, se coloca la regla metálica sobre la arista y se introduce la cuña metálica en el punto de mayor desviación. Si la arista es convexa se coloca la regla apoyada sobre el punto aparentemente más alto de la arista, tratando de que el borde inferior de la regla quede en ambos extremos, a distancias aproximadamente a las caras del ladrillo. Se introduce entonces la cuña metálica en los extremos y el promedio de ambas medidas se anota como la desviación real de la arista respecto a la línea recta.

Desviación del ángulo recto de los ángulos que forman entre sí las caras del ladrillo: se apoya un cateto de la escuadra sobre el eje mayor de cada cara del ladrillo. Se introduce entonces la cuña metálica en el punto que presente mayor desviación, y se registra esta redondeada al milímetro más cercano como la desviación del ángulo recto. (4-4)

Nota: Las mediciones indicadas anteriormente se realizan en cada uno de los 10 ladrillos.

En el informe de los ensayos debe indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 10 especímenes así como los promedios aritméticos.(4-4)

En este caso se tomó en consideración las siguientes normas

- a. ASTM C67-73 (*American National Standard A 82.1-1974*) *standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile.*
- b. Norma Chilena NCh 167.of54 Ensayos de ladrillos arcillosos

5.4 Determinación de la resistencia a la compresión (NGO 41 024 h2)

Los métodos que establece la presente norma se aplican a ladrillos de barro cocido, macizos, perforados y tubulares, con el objeto de comprobar la resistencia a la compresión de cada uno de éstos.

Espécimen de ensayo: son ladrillos secados, que tienen un largo aproximadamente igual al ancho con una tolerancia de $\pm 25\text{mm}$, y cuya altura corresponde al espesor del ladrillo.

Recubrimiento o nivelación de especímenes: es el proceso por medio del cual las dos caras de los especímenes de ensayo que van a soportar la carga, se recubren con una capa de material que fragüe sobre ellas y que permita lograr caras paralelas.

Aparatos: se utiliza una máquina para producir y medir un esfuerzo de compresión adecuado.

5.4.1 Preparación y conservación de las muestras

Secado y enfriamiento de los ladrillos: los especímenes se secan a una temperatura de 110° C a 115°, durante un tiempo menor a 24 horas, seguidamente se enfrían a una temperatura entre 16° C y 32° C, hasta que no se sientan calientes al tacto, se deben preparar 5 ladrillos.

Seguidamente se cortan los ladrillos de manera que no se produzcan astilladuras o fracturas, en trozos cuyas medidas deben tener un largo aproximadamente igual al ancho con una tolerancia de ± 25 mm, los extremos deben ser aproximadamente planos y paralelos. Además, si la superficie que soportará la compresión durante el ensayo tiene hendiduras, se debe llenar con un mortero compuesto por una parte en masa de cemento de fraguado rápido que cumpla con los requisitos del tipo III según la norma COGUANOR 41 005, y 2 partes en masa de arena.

Seguidamente los especímenes de ensayo son nivelados con un recubrimiento de azufre o un recubrimiento de yeso en las dos superficies opuestas que van a soportar la carga, (esto con el fin de que la carga sea uniforme sobre el espécimen) el espesor de las dos cubiertas debe ser aproximadamente el mismo el cual debe ser 6 mm. (5-2)

Procedimiento

- Se aplica la carga al espécimen, hasta la mitad de la máxima carga esperada, a cualquier velocidad conveniente.
- Se ajustan los controles de la máquina de manera que la carga restante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 1 minuto, pero no más de 2 minutos.

Expresión de los resultados: La resistencia se expresa en mega pascales (Mpa) que se obtienen de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{F}{Ab}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión del espécimen, en Mpa.

F = Carga máxima indicada por la máquina de ensayo, en Newtons.

Ab = Promedio de las áreas brutas de las superficies de carga superior e inferior, en milímetros cuadrados.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 5 especímenes así como los promedios aritméticos de estos.(5-3)

En este caso se tomó en consideración la siguiente norma:

ASTM C67-73 (American National Standard A 82.1-1974) standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile

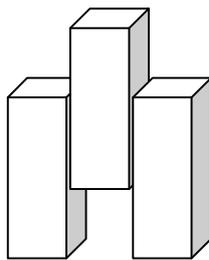
5.5 Determinación de la adherencia. (NGO 41 024 h3)

La presente norma se aplica a ladrillos de barro cocido, con el objeto de comprobar la adherencia de cada uno de éstos, para ver si cumplen con las especificaciones de la norma COGUANOR 41 022.

Principio del método: consiste en unir entre tres ladrillos, pegados con un mortero de cemento como se muestra en la figura 5.

Preparación y conservación de las muestras: Si los ladrillos tienen una razón inicial de absorción mayor de 0.15g/cm² mínimo o ésta no se ha determinado, se deben sumergir en agua por los menos durante 3 horas para saturarlos. Se prepara un mortero con una parte de cemento y tres partes de arena, se unen tres ladrillos por sus caras laterales, de tal modo que el del medio sobresalga un tercio de su largo respectivo, a los otros dos, como se muestra en la figura 5. Este conjunto de tres ladrillos constituye un espécimen de prueba; deben prepararse tres especímenes.

Figura 5. Forma de pegar los ladrillos para el ensayo



Las superficies de los especímenes que van a estar en contacto con las planchas de la máquina, se recubren con una capa de pasta de cemento pura, para tener paralelismo entre ellas (nivelando con un recubrimiento). Después de pegar y recubrir los especímenes, se deja que el mortero fragüe por lo menos durante 7 días.

Procedimiento

- Se aplica la carga al espécimen, hasta la mitad de la máxima carga esperada, a cualquier velocidad conveniente.
- Se ajustan los controles de la máquina de manera que la carga restante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 1 minuto, pero no más de 2 minutos.
- Esta determinación se hace en triplicado.

Expresión de los resultados: La adherencia de los ladrillos se obtiene dividiendo la carga máxima a la cual se despegan, entre el área total de adherencia y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Ad = \frac{F}{S}$$

Donde:

Ad = Adherencia de los ladrillos en megapascales.

F = Carga máxima indicada por la máquina, en Newtons

S = Suma de áreas de las 2 superficies adheridas, en milímetros cuadrados.

En el informe de los ensayos debe indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 3 especímenes así como los promedios aritméticos de estos.(6-2)

En este caso se tomó en consideración la siguiente norma:

ASTM C67-73 (American National Standard A 82.1-1974) standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile.

5.6 Determinación de la absorción de agua (NGO 41 024 h4)

La presente norma se aplica a ladrillos de barro cocido, macizos, perforados y tubulares, con el objeto de comprobar la absorción de agua de cada uno de estos, para verificar si cumplen con las especificaciones de la norma COGUANOR 41 022, en lo que se refiere a la absorción de agua.

Principio del método: Consiste en sumergir los ladrillos en agua pura, durante 24 horas, los cuales han sido previamente secados.

Equipo:

Balanza: la balanza que se utilizará debe contar con una capacidad mínima de 2000 g. y con una aproximación de $\pm 0.5g$.

Preparación y conservación de las muestras:

Especímenes de ensayo: Cinco ladrillos previamente secados y enfriados se cortan en dos partes iguales, a lo ancho de las caras mayores. Cada mitad constituye un espécimen de ensayo y la otra mitad se guarda como referencia.

Procedimiento

- Cada espécimen reparado, se pesa y anota el dato.
- Se sumergen en agua limpia (desmineralizada, destilada o de lluvia), con una temperatura entre $15^{\circ} C$ y $30^{\circ} C$, durante 24 horas.
- El espécimen se retira del agua y se elimina el exceso de agua de la superficie con un paño húmedo y se pesa.

Expresión de los resultados

La absorción de cada espécimen se expresa en kilogramos de agua absorbida por cada 100 kg de ladrillo completamente seco, y se calcula como un porcentaje de absorción de la siguiente manera:

$$\text{Absorción en porcentaje (m/m)} = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

m_s = Masa del espécimen completamente seco en kilogramos.

m_h . = Masa del espécimen completamente húmedo en kilogramos.

La masa de cada espécimen se toma con una aproximación de $\pm 0.5g$. y el porcentaje se calcula y anota con una aproximación de $\pm 1\%$.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 3 especímenes así como los promedios aritméticos de éstos.(7-2)

En este caso se tomó en consideración la siguiente norma:
ASTM C67-73 (American National Standard A 82.1-1974) standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile.

5.7 Determinación de la razón inicial de absorción (succión) (NGO 41 024 h5)

La presente norma se aplica a ladrillos de barro cocido, macizos, perforados y tubulares, con el objeto de comprobar la absorción de agua de cada uno de éstos, para verificar si cumplen con las especificaciones de la norma COGUANOR 41 022, en lo que se refiere a la razón inicial de absorción.

Principio del método: Consiste en sumergir dentro de agua una porción del ladrillo, durante un tiempo fijo, para determinar la cantidad de agua que se absorbe por capilaridad.

Equipo

Bandejas: recipientes a prueba de fugas de agua, que tienen una profundidad interna no menor de 13mm.y un ancho y largo, de manera que el área de la superficie de agua sea aproximadamente de 2000 cm². El fondo debe ser plano y horizontal, de manera que al menos un área de 200 mm. de largo por 150 mm. de ancho esté a nivel cuando se pruebe con un nivel de burbuja.

Soportes para ladrillos: se utilizan dos barras de metal resistente a la corrosión, entre 130mm y 150mm de largo, con una sección transversal triangular, de manera que su espesor sea aproximadamente 6 mm y no debe diferir en más de 0.03mm de la otra barra.

Balanza: la balanza que se utilizará debe contar con una capacidad mínima de 3000 g. Y contar con una aproximación de $\pm 0.5g$.

Cuarto de temperatura constante: debe ser un cuarto cerrado, libre de corrientes de aire y mantenido a una temperatura de $(21 \pm 1.5^\circ) C$.

Cronometro electrónico: éste debe contar con una precisión de 0.00 segundos.

Procedimiento:

Medios para mantener constante el nivel de agua: disponer un medio apropiado de controlar el nivel de agua sobre los soportes del ladrillo, con una precisión de $\pm 0.25mm$, incluyendo medios para agregar agua a la bandeja a una velocidad correspondiente a la velocidad con que la remueve el ladrillo. Para establecer y fijar el nivel de agua se debe utilizar un ladrillo o medio ladrillo cuyo desplazamiento de agua sea equivalente al del espécimen, saturado previamente por inmersión en agua durante no menos de 3 horas.

Nota 1. Un medio apropiado de obtener precisión en el control del nivel de agua consiste en fijar dos trozos de alambre rígido a uno de los extremos de las barras de soporte, de tal forma que se proyecten hacia arriba. Los extremos que van a sobresalir del nivel del agua, se doblan hacia abajo de manera que la punta de uno de ellos quede a una distancia de $3.2 - 0.25 mm$ del borde superior de la barra, y la punta del otro quede a $3.2 + 0.25 mm$.

Cuando el nivel del agua se ajusta de manera que la punta inferior haga un hoyuelo en el agua cuando se ve con luz reflejada, y la punta superior no toque el agua, el nivel esta dentro de los limites especificados.

Nota 2. Un tubo de hule que venga de un sifón o de un recipiente elevado, cerrado con una prensa manual de resorte proporciona una forma adecuada de agregar agua. Los aparatos llamados alimentadores de pollos no tienen suficiente sensibilidad y, por lo mismo, no operan con los pequeños cambios de nivel de agua permitidos en este ensayo.

El ancho y largo del espécimen de ensayo se determina con una precisión de $\pm 1\text{mm}$, y se pesa con una precisión de $\pm 0.5\text{g}$.

Se ajusta la posición de la bandeja de manera que esté a nivel, y se coloca sobre los soportes el ladrillo saturado con agua. Se agrega agua hasta que el nivel esté a $3.2 \pm 0.25\text{ mm}$ sobre el borde superior de los soportes.

Se remueve el ladrillo saturado y se coloca el espécimen en posición, con uno de las caras mayores sobre los soportes; el cronómetro se hace andar en el momento que el ladrillo hace contacto con el agua. Se deja el espécimen sobre los soportes durante $60 \pm 1\text{segundo}$, manteniendo el agua al nivel prescrito, agregando para tal fin la que sea necesaria. El espécimen se retira del agua, se limpia la superficie con un trapo húmedo y se pesa el ladrillo con una precisión de $\pm 0.5\text{g}$. El limpiado se debe hacer en 10 s y la pesada debe estar completa en no más de 2 minutos desde el momento en que el ladrillo se retira del agua.

Nota: El ladrillo se coloca rápidamente en el agua, pero sin producir salpicaduras, por medio de un movimiento rotatorio, para evitar que la superficie inferior arrastre aire. Los ladrillos con canales, hundimientos o depresiones se deben ensayar usando una de las caras planas.

Expresión de los resultados:

- La diferencia en gramos, entre la masa inicial y final es la masa de agua absorbida por el ladrillo en 1 min.
- Se calcula el área seccional en cm² a través de la cual ha ocurrido la absorción de agua, a partir del ancho y el largo del ladrillo determinados.
- Se calcula la razón inicial de absorción, dividiendo la masa de agua absorbida entre el área seccional.

$$R = \frac{m_f - m_i}{A \times t}$$

donde:

R = Razón inicial de absorción, en g/cm².min.

mf = Masa final del espécimen en gramos.

mi = Masa inicial del espécimen en gramos

A = Área del espécimen en cm².

t = 1 minuto

Si el ladrillo es perforado o tubular, se calcula el área neta y se sustituye por A en la ecuación anterior.

En el informe de los ensayos deben indicarse los métodos usados y los valores obtenidos en cada ensayo para cada uno de los 5 especímenes así como los promedios aritméticos de éstos.(8-2)

En este caso se tomó en consideración la siguiente norma:

ASTM C67-73 (*American National Standard A 82.1-1974) standard methods of sampling and testign bricks and structural clay tile.*

5.8 Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)

La resistencia a la flexión del ladrillo se toma como el módulo de ruptura del ladrillo ensayado sobre una luz simple, bajo una carga central. Aunque los ladrillos poseen una alta resistencia a la flexión usualmente tienen también una alta resistencia a la compresión, la relación está indefinida.

La Norma ASTM C 674 - 88 especifica que deben seleccionarse 5 ladrillos de cada 50,000 ladrillos o fracción, en ningún caso deben tomarse menos de 5 ladrillos, además estos deben estar secos.

Procedimiento

La muestra de ensayo se debe apoyar en su cara más ancha sobre una luz de 7 " y cargada a media luz. Si las muestras tienen agujeros o depresiones, se deben colocar en el lado de compresión. La carga debe ser aplicada sobre la superficie de la muestra a través de una plancha de ¼ " de espesor y 1 ½ " de ancho y de un largo igual al ancho de la muestra. La dirección de la carga debe ser perpendicular a la superficie cargada de la muestra.

Los soportes para el ensayo de la muestra deben estar libres de rotación en la dirección longitudinal y transversal de la muestra.

Debe aplicarse la carga uniformemente a razón de $1,000 \pm 150$ lbs (454 ± 68 kg)/min

Colocar el espécimen de la prueba rectangular en los bordes productivos, espaciar 4.0 pulgadas (102 mm) entre los centros, los extremos estarán por lo menos a cada 0.25 pulgadas. (6.4mm.)

El esfuerzo de flexión (módulo de ruptura) de cada muestra se calculará con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

donde:

MR = Módulo ruptura

P = Carga de falla en kg

L = Distancia entre apoyos en cm

Este ensayo, el cual no está considerado en las normas COGUANOR se realizó con base en las normas americanas ASTM C 674 – 88.

7. DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS EXIGIDAS A LOS LADRILLOS CERÁMICOS. SEGÚN NORMAS UNE

6.1 Métodos de ensayo

Los métodos de ensayo para verificar las características de los ladrillos a que hace referencia este pliego serán los siguientes:

6.2 Características dimensionales y de forma

Las características dimensionales y de forma se determinarán según la Norma UNE 67.030-85 "Ladrillos de arcilla cocida. Medición de las dimensiones y comprobación de la forma", sobre seis piezas tomadas al azar de la muestra. El espesor de pared y las perforaciones se medirán de forma análoga.

Los ladrillos presentarán regularidad de dimensiones y forma que permitan la obtención de espesores uniformes, igualdad de hiladas, decorados regulares y asiento uniforme de las fábricas, satisfaciendo para ello las características que se especifican a continuación.

Características dimensionales: el fabricante indicará las dimensiones nominales de los ladrillos en centímetros definidas por las de sus aristas: soga, tizón y grueso. Sobre estos valores se admiten las siguientes tolerancias.

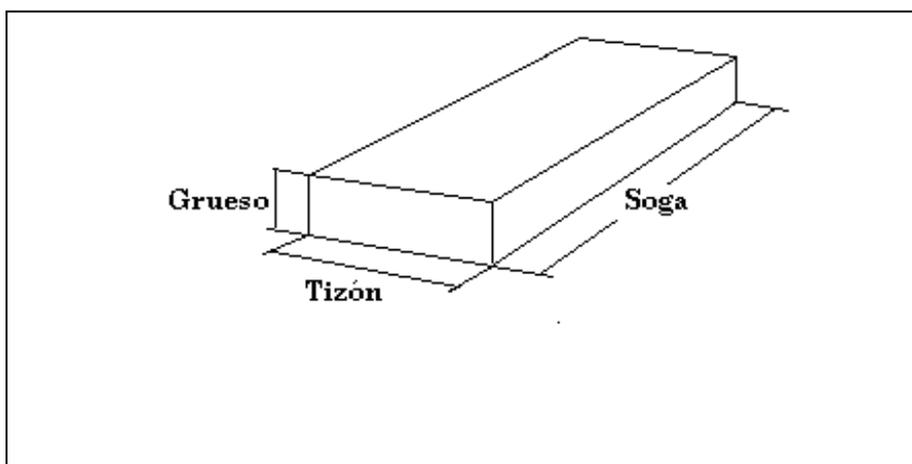
Tabla IX. Tolerancias

Tolerancias	Clases	
	V Milímetros	NV Milímetros
Sobre el valor nominal: dimensión mayor de 10 cm y menor o igual a 30 cm Dimensión menor o igual a 10 cm	± 3 ± 2	± 6 ± 4
De la dispersión: dimensión mayor de 10 cm y menor o igual a 30 cm dimensión menor o igual a 10 cm	5 3	6 4

Tolerancia sobre el valor nominal: es la diferencia entre el valor nominal de las aristas de ladrillo y el valor medio de esa dimensión en la muestra.

Tolerancia de la dispersión de las dimensiones: es el valor absoluto máximo de la diferencia entre el valor medio de una dimensión del ladrillo en la muestra y cada valor de la misma.

Figura 6. Denominación de las aristas



Planeidad de las caras: Las flechas admisibles en aristas y diagonales de las caras, en función de su longitud, serán las siguientes:

Tabla X. Flechas admisibles

Dimensiones nominales de aristas y diagonales de las caras	Flecha máxima (en mm)	
	V	NV
Mayor de 30 cm	4	6
Mayor de 25 cm y menor o igual a 30 cm	3	5
Mayor de 12,5 cm y menor o igual a 25 cm	2	3

6.3 Características físicas y mecánicas de los ladrillos

6.3.1 Resistencia a la compresión

Para su determinación se seguirá la Norma UNE 67-026-84 Ladrillos de arcilla cocida. Determinación de la resistencia a la compresión", sobre seis ladrillos tomados al azar de la muestra. Como resultado del ensayo se tomará el valor característico Rcm, siendo:

- Se saca el valor medio de las 6 determinaciones (Rck)
- Se obtiene la dispersión:

$$\delta = \sqrt{\frac{(R_{ci} - R_{cm})^2}{n-1}}$$

- Se calcula: Rck = Rcm - 1.64 δ

Donde:

R_{ci} = Es el valor de cada uno de los resultados de los ensayos.

R_{cm} = Es el valor medio.

δ = La desviación estándar.

N = El número de especímenes ensayados.

La R_{ck} debe ser \geq que la resistencia nominal del ladrillo. Si no es así: se rechaza la partida.

6.3.2 Resistencia a la heladicidad

La calificación de heladizo o no heladizo se establecerá de acuerdo con el resultado del ensayo según la Norma UNE 67-028-84 ladrillos de arcilla cocida, ensayo de heladicidad, sobre seis ladrillos tomados al azar de la muestra. Sometiendo el ladrillo a ciclos hielo y deshielo se manifiestan fallos de fabricación, especialmente de cocción, que pueden afectar la durabilidad del mismo. Este ensayo se considera preceptivo para ladrillo visto libremente de las características climáticas del emplazamiento de la obra.

Cuando un ladrillo ha sido bien cocido dentro de su masa se establece una estructura cerámica apropiada, la cual no se puede determinar por simple inspección. Hay quienes por su experiencia, con ver el color del ladrillo les es suficiente para conocer su grado de cocción, pero puede ser falso. El sonido metálico y campanil, claro y agudo, que se adquiere cuando se golpea con un cuerpo duro o con otro ladrillo, puede ser igualmente una buena predicción para el experto; pero este criterio no puede usarse a todos los ladrillos.

Lo que se comprueba con el ensayo de heladicidad es la apariencia de los ladrillos frente a la acción del hielo, que es muestra de su durabilidad.

La acción del hielo es destructiva porque el agua penetra en la capilaridad del ladrillo; una disminución de la temperatura por debajo de los 0 °C provoca que se transforme en hielo, el cual ocupa un volumen mayor y por lo tanto, ejerce una presión intersticial.

Procedimiento: se introducen 6 probetas en un tanque de agua a una temperatura de $15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante 48 horas, no se deben sumergir de golpe, de manera que la inmersión completa de las mismas se produzca a lo largo de 3 horas. Después se sacan, se dejan escurrir 1 minuto y se colocan en un congelador a $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ durante 18 horas. Las probetas deben permanecer, al menos, 11 horas a $-15\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. A continuación, vuelven al tanque para deshielo otras 6 horas. Este ciclo hielo-deshielo se repite 25 veces.

Se pueden utilizar ciclos de 5 horas de congelación y 1 hora de deshielo, siempre que el congelador sea capaz de alcanzar los $-8\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ en un máximo de 2 horas, después de meter los ladrillos.

La velocidad de descenso de la temperatura, en ambos casos, no será superior a $20\text{ °C} / \text{h}$.

Resultados: no es aceptable, tras los 25 ciclos, que se produzcan roturas, exfoliaciones, ni desconchados de dimensión media superior a 15 mm en ninguna pieza, o que aparezca más de una pieza fisurada. Si se presenta alguno de estos defectos, se califica al ladrillo como heladizo (entonces el informe del laboratorio deberá ir acompañado de fotografías mostrando los defectos observados). En caso contrario, como no heladizo.

La Norma UNE 67019 dice que deberá poseer la calificación de no heladizo.

6.3.3 Determinación de eflorescencias

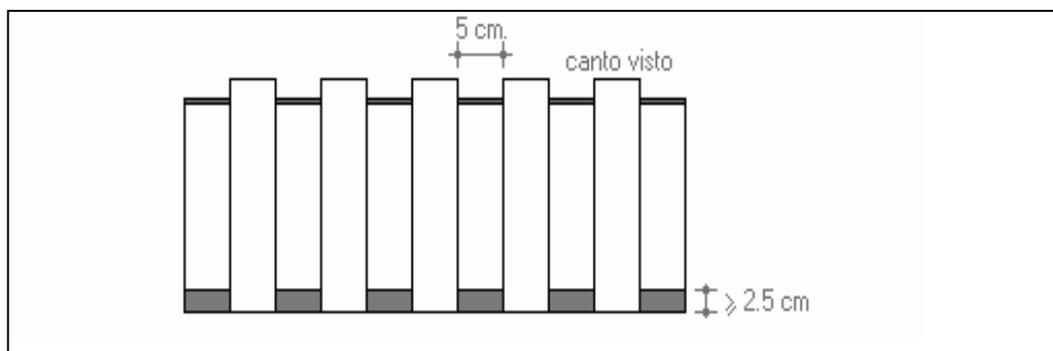
El ensayo de eflorescencia se realizará según la Norma UNE 67.029-85 Ladrillos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia. Estas son manchas superficiales en las caras de los ladrillos, generalmente blanquecinas, producidas por la cristalización de sales solubles, en su mayoría, son sulfatos, pero también pueden ser carbonatos y cloruros arrastrados por el agua hacia el exterior en los ciclos de humectación-secado.

Si bien el mecanismo de formación de eflorescencias es complejo, se puede decir en forma simplificada que algunas sales solubles en agua pueden ser transportadas por capilaridad a través de los materiales porosos y ser depositadas en su superficie cuando se evapora el agua. Esto no afecta a las características mecánicas de las piezas, pero estropean su aspecto.

Procedimiento:

- Se utilizan 6 ladrillos enteros y se conserva 1 como patrón. Los otros 5 se someten a ensayo.
- Se introducen las 5 probetas apoyadas por el canto en un recipiente que no produzca sales, con agua destilada y con cierre que sólo deje visto el canto visto del ladrillo.
- El nivel de agua destilada debe ser > 2.5 cm. desde la base del recipiente.
- Se ajusta el cierre, debiendo tener los ladrillos una separación entre tablas de 5 cm. Así permanecerán 7 días. (ver figura 7)
- Se sacan del recipiente y se dejan a temperatura ambiente durante 24 horas, seguidamente se introducen las 5 probetas más, el patrón en horno a 110°C durante 24 h.
- Se sacan y se colocan para contrastarlas.

Figura 7. Montaje del ensayo de eflorescencias



Resultados: se colocan los 6 ladrillos juntos apoyados por una testa y separados suficientemente para observar los cantos vistos, pudiendo ser:

Ladrillo no eflorescido (NEF)

Ladrillo ligeramente eflorescido (LEF)

Ladrillo eflorescido (EF)

Ladrillo muy eflorescido (MUY EF)

Los factores que se consideran para dar esas calificaciones dependen de la intensidad de la eflorescencia y la superficie afectada.

- No eflorescido: no se observa diferencia con el ladrillo patrón.
- Ligeramente eflorescido: se observa un velo homogéneo blanquecino de capa fina en todo el canto, o bien, cuando se observan manchas blanquecinas en las aristas y vértices del canto visto.
- Eflorescido: existen manchas diferenciadas en el canto visto o cuando la eflorescencia invade la totalidad de las caras vistas.
- La calificación de la muestra será la del mayor número de piezas, salvo que exista una pieza eflorecida, en cuyo caso se repetirá en ensayo. Si hubiera más de una pieza eflorecida se rechaza.

6.3.4 Determinación de la succión

La succión de agua se determinará, según lo establecido en la Norma UNE 67.031-85 "Ladrillos de arcilla cocida. "Ensayos de succión".

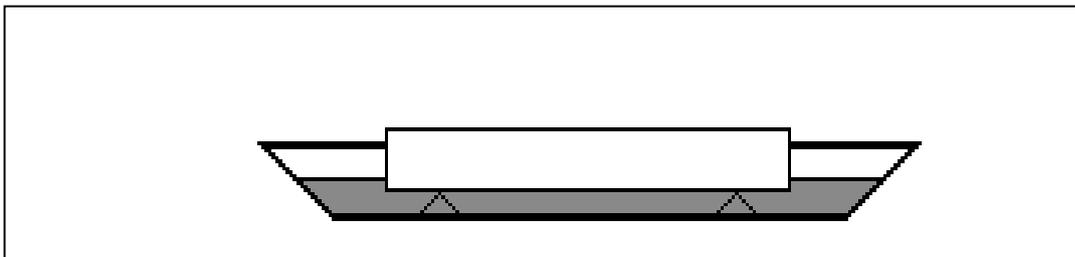
Es la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante inmersión parcial del ladrillo en un periodo corto de tiempo.

La práctica de sumergir brevemente en agua los ladrillos antes de su colocación es aconsejable en cualquier caso e imprescindible si la succión es mayor de 0,15 g/cm² por minuto, para evitar la deshidratación del mortero que puede ocasionar problemas de penetración de agua a través de las fábricas.

Procedimiento

- La muestra será de 6 ladrillos enteros.
- Se pesa el ladrillo y se deseca a temperatura de 110° hasta peso constante, obteniendo así el peso desecado Pd.
- Se mide el área de la cara que va a estar en contacto con el agua (generalmente 1 tabla) descontando la superficie de los taladros (si los tiene), obteniéndose así el área A.

Figura 8. Esquema para la determinación de la succión



- Se coloca el ladrillo según croquis y se llena la bandeja de agua hasta el borde, manteniendo ese nivel.
- Se mantiene en esta posición durante 1 min. Se saca de la bandeja, se seca con un paño y se pesa, obteniendo el peso Q.
- La succión será:

$$S = \frac{Q - P_d}{A} \text{ (gr/cm}^3 \text{ x 1 minuto)}$$

Resultados:

- Como resultado se dará el valor individual de cada probeta y el valor medio de las 3 determinaciones, debiendo ser el valor ≤ 0.45 .
- Si fuera mayor se rechaza.

6.3.5 Determinación de la masa

La determinación de la masa de ladrillos, se realiza de acuerdo con la norma UNE 67-019

La masa se determinará sobre seis ladrillos tomados al azar de la muestra, con una precisión de un gramo y desecando previamente las piezas a una temperatura comprendida entre 100° C. y 110° C. hasta obtener una masa constante. Se tomará como resultado el valor medio de las seis determinaciones.

La masa de los ladrillos perforados desecados será, como mínimo, la siguiente.

Tabla XI. Masa mínima para ladrillos perforados

Soga Centímetros	Grueso Centímetros	Masa (en gramos)	
		Clase V	Clase NV
Menor o igual de 26	3,5	1.000	--
	5,2	1.500	1.450
	7,0	2.000	1.850
Mayor de 26	5,2	2.200	2.000
	6,0	2.550	2.350
	7,5	3.200	2.900

Cuando el grueso nominal del ladrillo no coincida con los indicados en la tabla se tomará el valor más próximo.

7. SÍNTESIS DE LAS NORMAS INTERNACIONALES

Esta síntesis contiene y menciona cada una de las normas de ensayo, además son comparables en algunos casos con las normas a que hace referencia el presente trabajo, de acuerdo a su aplicación en nuestro medio, instrumentación usada y la información obtenida.

7.1 Normas para ladrillos cerámicos (INCONTEC)

Norma NTC 4205

Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos.

Objeto: Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fijar los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades.

Contenido

- Requisitos
- Definiciones
- Toma de muestras
- Clasificación
- Criterios de aceptación o rechazo.

Norma NTC 4017

Muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla.

Objeto: cubrir los procedimientos de muestreo y ensayo de ladrillos, bloques y unidades estructurales de arcilla.

Contenido

- Tasa inicial de absorción
- Muestreo
- Eflorescencia
- Determinación de la masa
- Medición del alabeo
- Módulo de rotura
- Medición del área de vacío
- Resistencia a la compresión
- Medición de ortogonalidad
- Absorción de agua
- Análisis térmico diferencial

7.2 Normas para ladrillos cerámicos (IRAM)

Especificaciones

Ladrillos y bloques cerámicos: determinación de las características geométricas. (Incluye: medidas; espesores; porcentaje volumétrico de perforaciones; bandas en la cara de asiento) norma IRAM 12585:1979

Ladrillos y bloques cerámicos: características geométricas. Medidas (largo, ancho, alto) norma IRAM 12585:1979.

Ladrillos y bloques cerámicos: características geométricas. Falta de planicidad. norma IRAM 12585:1979.

Ladrillos y bloques cerámicos: determinación de la densidad aparente. norma IRAM 12593:1991.

Ladrillos y bloques cerámicos: resistencia a la compresión. norma IRAM 12586:1980.

Ladrillos y bloques cerámicos: resistencia a la flexión. norma IRAM 12587:1982

Ladrillos y bloques cerámicos: capacidad de succión. Norma IRAM 12589:1982

Ladrillos y bloques cerámicos: capacidad de absorción de agua por inmersión en agua fría y en agua hirviendo norma IRAM 12588:1980

Ladrillos y bloques cerámicos: método de ensayo de adherencia norma IRAM 12592:1986.

7.3 Normas para ladrillos cerámicos (UNE)

Norma	Descripción
UNE 67.031	Ladrillos succión de agua.
UNE 67.026	Ladrillos resistencia a compresión.
UNE 67.030	Ladrillos dimensiones y comprobación de forma.
UNE 67.027	Ladrillos absorción de agua.
UNE 67.029	Ladrillos ensayo de eflorescencias.
UNE 67.019	Ladrillos definición, clasificación y especificaciones.
UNE 67.028	Ladrillos ensayo de heladicidad.

8. RESULTADO Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

8.1 Ensayos realizados

Los ensayos que se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería para el presente trabajo, tanto para baldosas como para ladrillos, son aquellos que de alguna manera no han sido incluidos, pero que si es posible realizar cada uno de ellos siguiendo estrictamente las especificaciones de su respectiva norma. Estos ensayos se realizaron para baldosas artesanales y baldosas industriales con el fin de hacer las respectivas comparaciones. En la tabla XII se enumeran los ensayos que se realizaron a las baldosas. De la misma forma se procedió con los ladrillos industriales (macizo o tayuyo, perforados y tubulares) y artesanales (macizo o tayuyo). En la tabla XII se enumeran los ensayos que se realizaron a cada clase de ladrillo.

Tabla XII. Ensayos a las baldosas

Ensayo	Especímenes a usar
Muestreo e inspección	3 U. Por millar
Inspección visual	3 U. Por millar
Determinación de las dimensiones y masa	10
Forma y dimensiones	10
Agrietamiento en autoclave	3
Expansión por humedad usando agua hirviendo.	5
Baldosas a usar	10

Tabla XIII. Ensayos a ladrillos

Ensayo	Especímenes a usar
Determinación de la heladicidad	6
Determinación de eflorescencias	6
Determinación de la masa	6
Ladrillos a usar	18

8.2 Especímenes utilizados

Baldosas: se utilizaron baldosas artesanales de medida nominal de (25 x 25 x 2.5)cm y baldosas dobles industriales de (25 x 25 x 5)cm.

Para estos ensayos se requerían 8 baldosas de cada clase, debido a que 5 se utilizarían para el ensayo de expansión por humedad usando agua hirviendo y en las 3 baldosas restantes para los otros ensayos, pero se obtuvieron 10 de cada clase para tener una holgura por imprevistos (transporte, manejo de especímenes, etc.)

Ladrillos: de los ensayos mencionados para ladrillos se necesitan 18 de cada tipo (artesanales e industriales), con las siguientes medidas nominales:

Ladrillo industrial macizo	(23 x 11 x 6.5)cm.	Tipo A, clase M
Ladrillo industrial tubular	(23 x 11 x 6.5)cm.	Tipo A, clase T
Ladrillo industrial perforado	(23 x 14 x 6.5)cm.	Tipo A, clase P
Ladrillo artesanal macizo	(23 x 11 x 6)cm.	Tipo B, clase M

8.3 Ensayos realizados a baldosas artesanales e industriales

8.3.1 Muestreo e inspección

De acuerdo a la norma F.H.A. actual se consideró tomar tres muestras por millar por lote producido por jornada de trabajo para las baldosas artesanales así como para las baldosas industriales. La inspección de aceptación es necesaria para la manufactura y puede ser aplicada a los materiales que se reciben, a los productos parcialmente acabados en diferentes etapas intermedias del proceso de manufactura y el producto final, dicha inspección se lleva a cabo mediante muestreo.

Para obtener el muestreo de baldosas industriales se solicitó a las fabricas del país la cantidad de 10 baldosas, de igual forma se obtuvieron las baldosas artesanales. La selección se llevó acabo de la siguiente forma: inicialmente se formó una fracción preliminar de 100 baldosas del lote, de las que se tomaron tres al azar. Posteriormente se formaron fracciones adicionales del resto del lote hasta completar un total de 10 baldosas. Cada una de las baldosas así muestreadas fue centro de inspección ocular, teniendo que ser necesario desechar 2 baldosas artesanales por presentar varios defectos visuales, sustituyéndolas seguidamente por otras también tomadas al azar. De las baldosas industriales no se desechó ninguna.

Ninguno de los muestreos realizados en las diferentes fábricas fue rechazado, porque el número total de baldosas desechadas por defectos visuales no sobrepasó el 5 % del tamaño del lote, establecido anteriormente.

8.3.2 Inspección visual

De las muestras tomadas sobre baldosas artesanales e industriales, se verificó la superficie de cada una de ellas, la cual estaba libre de agrietamientos visibles en su estado seco, también se visualizó que estaban exentas de eflorescencias, machas costras, fracturas o imperfecciones en su forma o colorido. De lo anterior se puede afirmar que las muestras son aceptables.

8.3.3 Determinación de las dimensiones y masa

Procedimiento

Primeramente se secaron las 10 muestras para evitar que la humedad desarrolle consecuencias sobre las muestras en el momento de tomar los valores de la masa, con una balanza con aproximación de 1.0 gr. tanto para baldosas artesanales como para industriales.

Se midieron las longitudes de los lados (con la cinta métrica) y el promedio de estos valores se tomó como el largo y el ancho, y para el espesor se midió en los puntos medios de cada lado de la baldosa para obtener un promedio de éstos.

Análisis de resultados: la norma permite una variación del $\pm 3\%$, por lo que se usa la siguiente ecuación para poder determinarla:

$$\text{Variación (\%)} = \frac{(\text{LN} - \text{LR}) \times 100}{\text{LN}}$$

Donde:

(LR) = Longitud Real

(LN) = Longitud Nominal

Las dimensiones de las baldosas artesanales, presentan una varianza en la medida de su largo y ancho, según los datos obtenidos, pero aún así, se mantiene dentro de la variación permitida, ya que el valor más alejado de la medida nominal es -2.08%, entonces se puede decir que las muestras cumplen con el requisito establecido. Las baldosas industriales presentan una mejor uniformidad en su largo y ancho, y claro está que los datos se encuentran dentro del rango de variación permitida, ya que el valor más alejado de la medida nominal es -0.60%, entonces se puede decir que las muestras cumplen con el requisito establecido.

Al hacer la comparación de los dos tipos de baldosas, por medio de la desviación estándar (que representa el alejamiento de una serie de números de su valor medio) se puede decir que la uniformidad de las baldosas industriales supera al de las baldosas artesanales.

El espesor: de las baldosas artesanales muestran una desigualdad y además no se encuentra dentro del rango de variación permitida y su valor más cercano a la medida nominal es de -9.00 % y su valor más alejado de esta medida es de -18.00%. Las baldosas industriales también muestran una desigualdad, que no permite que esté dentro del rango de variación permitida, pues su valor más cercano a la medida nominal es de -2.00% (es un valor aceptable, pero únicamente se cumple en la baldosa No. 1 de la muestra. ver tabla XXIV) y su valor más alejado es de -20.00%.

La Masa: de las baldosas artesanales tienen una media de 2687.30 gramos y un alejamiento de la media de 38.63.

Las baldosas industriales tienen una media de 2234.80 gramos y un alejamiento de la media de 32.57, lo que indica que está más agrupado en torno a la media, el valor menor de la desviación típica lo muestra con claridad.

Forma y aspecto superficial: de la tabla XXV y XXVI, baldosas artesanales e industriales respectivamente, se puede decir que las de tipo industrial tienen mejor aspecto, tanto superficial como de ortogonalidad, esto último debido al manejo de las probetas en el proceso de secado.

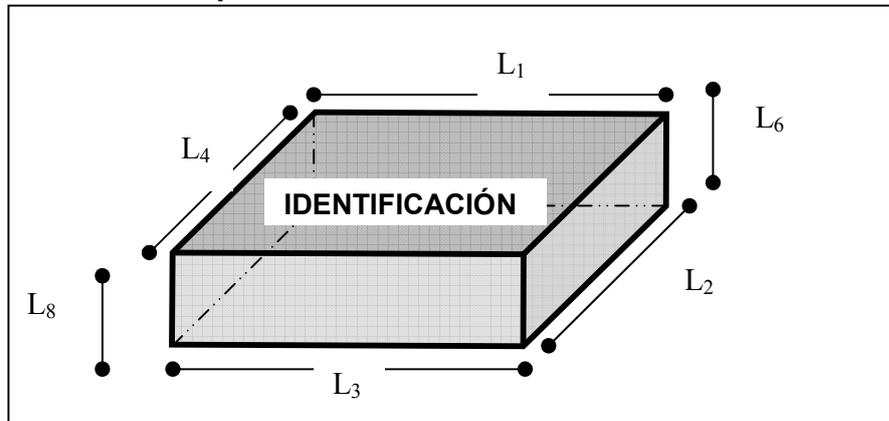
Nota: Es necesario recordar aquí que se utilizaron baldosas artesanales con medidas nominales de 250mm x 250mm x 25mm e industriales con medidas nominales de 250mm x 250mm x 50mm (baldosa doble)

8.3.4 Determinación del agrietamiento en autoclave

Procedimiento

Para el presente ensayo se cortaron 4 piezas de 100 mm x 100 mm, con el espesor de las baldosas artesanales e industriales, de las cuales se usaron las mejores tres piezas seccionadas de cada tipo, y que estaban dentro del rango de tolerancia ± 5 mm, las cuales superaron la tolerancia, ya que las probetas de baldosas artesanales van de 0.00 mm a - 1.35mm y las probetas de baldosas industriales van de 0.00 mm a - 1.15mm. Las medidas reales de las probetas (ver tabla XXVII y XXX) se adquirieron con un calibrador de 0.1mm, tomando la lectura de cada una de las aristas de cada cara para obtener así un promedio, cada una de ellas se tomó en el orden que muestra la figura 9, después de ser identificada la probeta.

Figura 9. Medidas a probetas de baldosas artesanales e industriales



Seguidamente se colocaron las seis probetas en una bandeja, que estaría durante 2 horas en el autoclave a partir del momento en que alcanzara una presión de 1000 ± 50 Kpa. equivalente a 10.19 ± 0.51 Kg/cm². Seguidamente, se dejó que las probetas se enfriaran a temperatura ambiente dentro del autoclave. Pasado ya 48 horas, se procedió a inspeccionar a cada una de las probetas y a obtener las medidas (ver tabla XXVIII y XXXI), para verificar cambios de volumen y principalmente de agrietamiento.

8.3.4.1 Análisis de resultados

De las probetas artesanales se pudo verificar después de que salieran del autoclave que no presentaron ninguna fisura o agrietamiento en ninguna de sus caras, excepto que se notaron con mayor claridad los poros o intersticios, los cuales se hicieron mayores después del ensayo.

Esto último por la presión a la que fueron sometidos dichos especímenes y por la poca compacidad de estas probetas, debido a que se esperaba un cambio de esta naturaleza, se quiso obtener el porcentaje de contracción / expansión en cada baldosa y por lo mismo fue que se tomaron las respectivas medidas antes del ensayo para ambas clases de baldosas.

Las probetas industriales no presentaron ninguna fisura o agrietamiento en ninguna de sus caras, a diferencia con las probetas de baldosas artesanales no se presentaron cambios visibles respecto a los poros o intersticios, debido a que las secciones obtenidas por los cortes en las probetas de baldosas industriales se ve compacto y denso.

Es necesario señalar que cuando se sacaron las piezas del autoclave, se pudieron notar desprendimientos de partículas pequeñas en las piezas, principalmente de baldosas artesanales debido al polvo fino encontradas en la bandeja que sostenía a las piezas dentro del autoclave.

Para el cambio volumétrico se utilizó la ecuación del coeficiente de expansión/contracción dado en porcentaje de la siguiente manera:

$$\text{Coeficiente de expansión/contracción } C(\%) = \frac{\Delta L * 100}{G}$$

Se pudo verificar la existencia, en cada una de las probetas (ver tabla XXIX) de las de baldosas artesanales una contracción total de: 0.11%, 0.22%, 0.03% de las probetas 1,2 y 3 respectivamente. Lo mismo para las probetas industriales (ver tabla XXXII) con contracciones totales de 0.09%, 0.07%, 0.05% de las probetas 1, 2 y 3 respectivamente.

Nuevamente se nota que por la calidad de las baldosas industriales respecto a las artesanales la contracción fue menor, debido a que la baldosa industrial es más compacta y densa.

Nota: se hace ver que al hacer los cortes de las probetas que se utilizaron, fue más fácil hacer el corte a las baldosas artesanales que las industriales, esto último por el prensado que se le da al material en el proceso de fabricación.

8.3.5 Expansión por humedad usando agua hirviendo

Procedimiento: se cortaron 6 piezas de 100 mm x 35 mm, con el espesor de las probetas, de las cuales se usaron las mejores cinco y se tomaron las medidas reales de las probetas (ver tablas XXXIII y XXXVI) que se adquirieron con un calibrador de 0.1mm, tomando la lectura de dos aristas más una medida central de cada cara para obtener así un promedio, (medidas a las que se nombraron como L_0). Seguidamente, se introdujeron en el horno durante dos horas a una temperatura de 550 ± 15 °C y posteriormente al tratamiento en agua hirviendo a presión atmosférica durante 24 horas, después se dejaron pasar 7 días para que se secaran a temperatura ambiente para después obtener las medidas resultantes, asignándoles L_1 .

8.3.5.1 Análisis de los resultados

Para obtener los valores del porcentaje de expansión o contracción se utilizó la ecuación del coeficiente de expansión/contracción. Se pudo verificar después del ensayo según la tabla XXXVII, los resultados se muestran de manera inverosímil, ya que cuatro de las probetas de baldosas artesanales sufrieron contracciones y una de ellas expansión. De manera inversa pasó con las probetas de baldosas industriales, ya que cuatro ellas sufrieron expansión y una de ellas contracción.

Lo que realmente se esperaba era una pequeña expansión de las probetas debido a que el recocido crea una contracción y el tratamiento en agua una expansión. El recocido a 2 horas a una temperatura de 550 ± 15 °C,

crearía una pequeña contracción y eso aseguraría que la expansión fuera pequeña, pero en el caso de las probetas de baldosas artesanales que presentan en su mayoría una contracción, indica que las probetas necesitan un cocido más eficiente, quizá mayor tiempo en el horno, o mayor temperatura.

En el caso de las probetas de baldosas industriales vemos que estas presentan en su mayoría una expansión, lo que indica que el proceso de cocido es mejor, ya que el recocido a que fueron sometidas estas probetas ya no les afectó la contracción y que en el momento de ser expuestas al tratamiento en agua se produjo la expansión.

De lo anterior se puede asegurar que las baldosas industriales tienen un mejor proceso de cocido, y que la expansión que se produce es muy pequeña (que en promedio presenta una expansión de 0.025%) por lo cual se puede decir que es aceptable y que las baldosas artesanales no tienen un buen proceso de cocido, y que la contracción en promedio que se produce en este tipo de baldosa es de -0.716% por lo cual se puede decir que no es aceptable.

Se hace notar que después del tratamiento en agua hirviendo se presentó una decoloración de ambos tipos de baldosas.

8.4 Ensayos realizados a ladrillos artesanales e industriales

Para los siguientes ensayos se utilizaron cuatro géneros de ladrillos

Ladrillo industrial macizo	(23 x 11 x 6.5)cm.	Tipo A, clase M
Ladrillo industrial tubular	(23 x 11 x 6.5)cm.	Tipo A, clase T
Ladrillo industrial perforado	(23 x 14 x 6.5)cm.	Tipo A, clase P
Ladrillo artesanal macizo	(23 x 11 x 6.0)cm.	Tipo B, clase M

8.4.1 Heladicidad

Procedimiento

Todas las muestras se seleccionaron de tal manera que tuvieran un buen aspecto, para comprender mejor los cambios perpetrados por las muestras después de efectuado el ensayo. Se introdujeron las 24 muestras de ladrillos a un tanque vacío y con una manguera se procedió a sumergirlas, tratando que el caudal de agua fuera lo menos posible, con el fin de que se tardara tres horas, según las especificaciones de la norma, y permaneciendo sumergido durante 48 horas a temperatura ambiente.

Para el presente ensayo se utilizó un congelador que era capaz de alcanzar una temperatura de - 30°C (esta temperatura fue medida con un termómetro basándose en termistores fabricados con óxidos de níquel, manganeso o cobalto) para poder utilizar ciclos de 5 horas de congelación y una hora de deshielo.

La norma indica que el congelador debe ser capaz de mantenerse a una temperatura de $-8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que era necesario llevar un alto control de la temperatura interrumpidamente e ir graduando los niveles del congelador con el fin de cumplir rigurosamente con la norma. Durante las 24 horas fue posible realizar cuatro ciclos, lo que significa que se necesitarían 6 días + 1 ciclo de 6 horas para lograr completar los 25 ciclos establecidos.

Análisis de los resultados

Tras seguir rigurosamente cada uno de los ciclos se pudo observar que en los ciclos del 13 al 19 se empezaron a ver los cambios que se especifican en la tabla XXXVIII, en la cual se puede notar la calificación que se hace para cada una de las muestras. En su mayoría se da la calificación de no heladizo, esto se da por la presión intersticial que se provoca debido a la porosidad que existe en cada una de las muestras. Entonces se recomienda una mejor compacidad con el fin de eliminar la porosidad de las muestras.

Nuevamente se puede ver que las muestras artesanales presentan los daños más significativos, y nuevamente esto depende del proceso de cocción y afecta a su durabilidad.

8.4.2 Eflorescencias

Procedimiento

Las 6 muestras se seleccionaron de tal manera que estuvieran libres de manchas, para asimilar mejor los cambios realizados por las muestras después de efectuado el ensayo. El recipiente que se utilizó era metálico, por tanto no produciría sales, (se impermeabilizó con el fin de que no existiera fuga del agua destilada) y la tapadera se hizo de poliestireno expandido (duroport)

Al introducir las muestras en el recipiente, se midió la altura del agua destilada, y esta llegó a tener una altura de 4.5 cm y la norma específica que debe de ser mayor de 2.5cm. Al cumplirse los 7 días que tenían que permanecer así las muestras, se midió nuevamente la altura del agua destilada para tener la seguridad de que ésta no bajó más allá de los 2.5 cm establecidos como mínimo y se obtuvo una medida de 2.55 cm de altura. En esta etapa aún no se notaba ningún cambio, las muestras se dejaron a temperatura ambiente durante 24 horas y seguidamente se introdujeron en un horno a 110 °C durante 24 horas para obtener muestras secas y así poder distinguir los cambios producidos durante el ensayo.

La calificación se hace con base en lo siguiente

Ladrillo no eflorescido (NEF)

Ladrillo ligeramente eflorescido (LEF)

Ladrillo eflorescido (EF)

Ladrillo muy eflorescido (MUY EF)

- No eflorescido: no se observa diferencia con el ladrillo patrón.

- Ligeramente eflorescido: se observa un velo homogéneo blanquecino de capa fina en todo el canto, o bien, cuando se observan manchas blanquecinas en las aristas y vértices del canto visto.

- Eflorescido: existen manchas diferenciadas en el canto visto o cuando la eflorescencia invade la totalidad de las caras vistas.

- La calificación de la muestra será la del mayor número de piezas, salvo que exista una pieza eflorecida, en cuyo caso se repetirá en ensayo. Si hubiera más una pieza eflorecida se rechaza.

Análisis de los resultados

De los datos que se pueden apreciar en la tabla XXXIX, se puede afirmar que cada una de las muestras se califican eflorescidas, lo que significa que las muestras contienen alto porcentaje en su materia prima de sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): estas sales, deben ser menor al 0.04%.

Estas manchas no afectan a las características mecánicas de las piezas, pero deslucen su aspecto.

8.4.3 Determinación de la masa

Primeramente se secaron las muestras para evitar que la humedad desarrolle consecuencias sobre las mismas en el momento de tomar los valores de la masa, con una balanza con aproximación de 1.0 gr. Los valores determinados se encuentran en la tabla XL.

De las muestras de ladrillos se tiene que los ladrillos Tubulares industriales tienen una media de 2019.67gramos y un alejamiento de la media de 19.22. lo que indica que está más agrupado en torno a la media, y el valor menor de la desviación típica lo muestra con claridad.

**9. COSTOS SUGERIDOS PARA ENSAYOS REALIZADOS,
DE ACUERDO CON EL ARANCEL VIGENTE DEL CII.**

Tabla XIV. Costos sugeridos

Núm.	ENSAYO	PRECIO SUGERIDO	COSTO
1	Ensayos a baldosas	Inspección visual Determinación de las dimensiones y masa Forma y dimensiones	Q. 399.34
2	Ensayos a baldosas	Agrietamiento en autoclave	Q. 385.64
3	Ensayos a baldosas	Expansión por humedad usando agua hirviendo	Q. 200.00
4	Ensayos a ladrillos	Heladicidad	Q. 232.00
5	Ensayos a ladrillos	Eflorecencias	Q. 185.00
6	Ensayos a ladrillos	Determinación de la masa	Q. 50.00

Cada uno de los precios mencionados anteriormente fue comparado con los precios del arancel vigente del CII, de acuerdo con una última actualización (15 - 72) ya que existen ensayos similares, aplicados a otros materiales.

CONCLUSIONES

1. Las baldosas artesanales son medianamente horneadas, esto provoca que las baldosas no sean estables ante la expansión que se da por humedad, Se considera que valores de expansión total superiores a 0.065%, requieren consideraciones especiales de diseño de juntas y refuerzo longitudinal.
2. El ensayo de agrietamiento por autoclave, determinó que no ocurre dicho efecto sobre las probetas, pero se dio un cambio de longitud lo cual indica que la materia prima utilizada contiene material dañino como es el caso del carbonato de calcio.
3. Una arcilla que contiene mucha grasa en sus materiales eleva el costo del producto ya que cuanto más plástica es más desperdicios se producen debido a las contracciones que sufre en el secado. Si es muy plástica es necesario combinarla con un 50% de talpetate o tierra desengrasante.
4. Los valores altos de expansión usualmente se encuentran asociados a problemas de combinación de materias primas y temperaturas bajas de cocción.
5. Los valores de la expansión por humedad, pueden variar de acuerdo a la dirección de determinación, si está es paralela o perpendicular a la dirección de extrusión. Igualmente, para iguales materias primas y procesos de producción, los valores de expansión por humedad pueden diferir si los especímenes son obtenidos mediante extrusión, prensado en seco o prensado en húmedo.

6. Los productos cerámicos, cuando no tienen un buen proceso de cocido no consiguen contraerse lo suficiente permitiendo así la porosidad y como consecuencia de esto una absorción relativamente alta, también se debe al material utilizado y los métodos de producción empleados.
7. La expansión por humedad es un fenómeno no reversible bajo las condiciones normales de trabajo, El efecto de la expansión por humedad, usualmente es mal diagnosticado y sus efectos son atribuidos a otro tipo de causas.
8. La característica que diferencia la baldosa industrial de la baldosa artesanal, es que presenta un grado de cocción más elevado y que el material utilizado como materia prima es mejor seleccionado, pero aun así contiene un alto porcentaje de carbonato de calcio, debido a los resultados obtenidos y que se califica como eflorescido.
9. Las manchas por eflorescencias están formadas por distintos tipos de sales; en su mayoría, son sulfatos, pero también pueden ser carbonatos y cloruros.
10. El proceso de aparición de las eflorescencias se da porque el agua del mortero disuelve sales de diversas procedencias (cemento, arena, etc.), entra en el ladrillo por sus capilares y se evapora por la cara vista, donde deposita las sales que transporta.
11. Debido a la porosidad encontrada en los ladrillos en el proceso de congelamiento del ensayo de heladicidad, el agua se introduce dentro de dichos poros y crea una presión interna, que provoca una ruptura o exfoliación en el producto cerámico.

12. Algunas de las partículas arcillosas no se integran a la red vítrea y permanecen en su forma natural, debido a las limitaciones prácticas y económicas del horneado. Estas partículas no vitrificadas, una vez salen del horno deshidratadas y sin agua química, incorporan a su estructura molecular toda el agua disponible del ambiente.
13. Las unidades cerámicas, constituidas por la misma materia prima, experimentarán mayor expansión si son cocidas a baja temperatura respecto a las cocidas a temperaturas mayores.
14. Técnicamente, la expansión de las unidades de arcilla cocida es el resultado de un proceso que se desarrolla en las estructuras que conforman la pieza cerámica y que no es reversible a las temperaturas normales de trabajo de un muro construido.
15. Los ensayos para baldosas agrietamiento en autoclave y expansión por humedad usando agua hirviendo así como los ensayos que se realizaron a los ladrillos como heladicidad y eflorecencias se consideran importantes para la determinación de efectos físicos descritos anteriormente, por lo tanto es conveniente hacerlos, ya que el equipo utilizado en cada uno de ellos puede encontrarse en nuestro medio.

RECOMENDACIONES

1. Las eflorescencias se eliminarán con el tiempo, el lavado y el uso. Si se desea una rápida eliminación de las mismas, entonces se debe cepillar la superficie una vez que esté completamente seca.
2. Hacer un buen proceso del análisis granulométrico de finos para un control íntegro de calidad, de la materia prima ya que varía en su porcentaje de contenido, aún siendo de un mismo depósito, para asegurar un buen material cerámico.
3. Invitar a las industrias a que realicen una inspección del proceso de fabricación y selección de materia prima con más frecuencia con la finalidad de elevar el control de calidad de sus productos.
4. Crear normas y especificaciones guatemaltecas para elevar el control de calidad de los productos cerámicos.
5. Establecer para cada lote de unidades de arcilla el valor típico de expansión para la elaboración de los diseños y en ningún caso, utilizar valores promedios regionales.
6. Durante la cocción, se debe crear un ambiente propicio, principalmente la temperatura y tiempo de cocción para constituir nuevas etapas cristalinas a partir de las etapas imperfectas presentes en la pieza, logrando un producto estable frente a la humedad ambiental

7. Los hornos utilizados para productos artesanales como el pampa, son constituidos por un cajón refractario con quemadores en sus zonas bajas. Este tipo de horno puede presentar diferencias entre la temperatura de cocción de las partes altas (zonas frías) y la de las partes bajas (zonas calientes), que pueden ser del orden de 200 a 300°C, Por lo tanto una buena práctica es no apilar bastantes productos cerámicos, con la finalidad de no afectar a las piezas que quedan en la parte baja y para que la variación de temperatura sea mínima.

BIBLIOGRAFÍA

1. Casellas Corado, Luis Rodolfo, Proceso de fabricación de ladrillo de barro cocido con moldeo al vacío. Tesis Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 1977.
2. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Especificaciones** (NGO 41 022) Diario de Centro América, Guatemala; abril 15,1982.
3. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Toma de muestras** (NGO 41 023) Diario de Centro América, Guatemala; abril 15,1982.
4. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Determinación de la forma y dimensiones** (NGO 41 024 h1) Diario de Centro América, Guatemala; abril 16,1982.
5. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Determinación de la resistencia a la compresión** (NGO 41 024 h2) Diario de Centro América, Guatemala; abril 13,1982.
6. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Determinación de la adherencia** (NGO 41 024 h3) Diario de Centro América, Guatemala; diciembre, 8,1982.
7. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Determinación de la Absorción de agua** (NGO 41 024 h4) Diario de Centro América, Guatemala; diciembre, 8,1982.
8. COGUANOR. Ladrillos de barro cocido. **Determinación de la razón inicial de absorción (succión)** (NGO 41 024 h5) Diario de Centro América, Guatemala; diciembre, 8,1982.
9. Cruz Ramos, Oscar, Pisos de baldosas de barro cocido. Tesis Ing. Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 1989.
10. Davis, Harmer E. George Earl Troxell and Clement T.Wiskocil. **The Testing and Inspection Of Engineering Materials**. 2nd. Ed. New York, Mc Graw- Hill, 1955 431p.
11. D.G.O.P (Dirección General de Obras Públicas). **Especificaciones técnicas de Construcción**. Guatemala 1976.

12. Documento técnico del Centro de Investigaciones de Ingeniería, 1977, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
13. F.H.A. (Fondo de Hipotecas Aseguradas) **Normas de Planificación y construcción**. Guatemala, 1994.
14. Guía de baldosa cerámica, ASCER. Asociación Española de fabricantes de azulejos, pavimentos y baldosas cerámicas, página “Azulejos de España”, <http://www.ascer.es/es> (mayo 2003)
15. Gonzáles García Lidia Virginia. Actualización del arancel del centro de investigaciones de ingeniería. Tesis Ing. Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 2003.
16. Juárez Sandoval, Miguel Angel. Evaluación de las normas Coguanor sobre ladrillos de barro cocido en relación con su aplicación local y propuesta de revisión de las mismas . Tesis Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, 1985.
17. Norma ASTM C 62-75 (*American National Standard A98.1-1970) standard specification for building*
18. Palencia Alvarado, César Augusto. Los materiales de la construcción, tecnología y ensayos. Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Borromeo. Guatemala, 1970.
19. SANDOVAL GARCIA , Luis Angel. Evaluación de las características físico-mecánicas de las baldosas de cemento fabricadas en Guatemala y propuesta de normas para el control de su calidad. Tesis Licenciatura. Universidad de San Carlos de Borromeo. Guatemala, 1984.
20. SOWERS, Geoge B y George I. **Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones**. México: Edith. Limusa, 1972.

APÉNDICE

Tabla XV. Normas consultadas para las baldosas

NORMAS CONSULTADAS PARA BALDOSAS										
Ensayo	F.H.A	BS	UNE	IRAM Oficial	CAN	ICONTEC	UNE-EN ISO	Din 52 108	ISO	ASTM
Muestreo e inspección	*	*	*	*						
Inspección visual	*	*		*						
Determinación de las dimensiones y masa			*		*					
Forma y dimensiones	*		*	*		*	*		*	*
Absorción de agua		*	*	*		*				*
Resistencia al deslizamiento.										
Agrietamiento en autoclave					*					
Resistencia al desgaste o abrasión.			*					*	*	*
Resistencia al impacto	*		*	*		*				
Resistencia la flexión		*	*	*		*			*	*
Expansión por humedad usando agua hirviendo.									*	*

Tabla XVI. Normas consultadas para los ladrillos

NORMAS CONSULTADAS PARA LADRILLOS						
Ensayo	NGO	ASTM	UNE	NTC	IRAM	
Determinación de la forma y dimensiones	*	*	*	*	*	
Determinación de la absorción de agua	*	*		*	*	
Determinación de la succión	*	*	*		*	
Determinación de la adherencia	*	*			*	
Determinación de la resistencia a la compresión	*	*	*	*	*	
Determinación de la resistencia a la flexión.		*		*	*	
Determinación de la heladicidad			*			
Determinación de eflorescencias		*	*	*		
Determinación de la masa			*	*	*	

Tabla XVII. Características de los ensayos para baldosas

Ensayo	Equipo necesario para ensayos a baldosas	Especímenes a usar	¿Realizado en CII?
Muestreo e inspección	Ninguno	3 U. Por millar	Sí
Inspección visual	Ninguno	3 U. Por millar	Sí
Determinación de las dimensiones y masa	Cinta métrica con escala graduada en cm y aproximación al mm, calibrador de 0.1 mm y balanza con aproximación de 1.0 gr.	10	Sí
Forma y dimensiones	Cinta métrica con escala graduada en cm y aproximación al mm, calibrador de 0.1 mm	10	Sí
Absorción de agua	Balanza con precisión de 0.1 gr. y un horno de secado.	3	Sí
Resistencia al deslizamiento.	Hule vulcanizado que tenga una dureza de 60 a 80 duroméetro shore.	3	No
Agrietamiento en autoclave	Autoclave capaz de producir 1000 ± 50 KPa en vapor saturado	3	No
Resistencia al desgaste o Abrasión.	Máquina Boehme y calibrador con aproximación de 0.1 mm y balanza que aprecie 0.1 gr.	3	Sí
Resistencia al impacto	Un calibre con precisión de 0,1 mm máquina de tenacidad page (ASTM D3)	5	Sí
Resistencia la flexión	Máquina universal	5	Sí
Expansión por humedad usando agua hirviendo.	Un calibre con precisión de 0,1 mm, horno capaz de producir $550 \pm 15^{\circ}\text{C}$ y una estufa		No

Tabla XVIII. Características de los ensayos para ladrillos

Ensayo	EQUIPO NECESARIO PARA ENSAYOS A LADRILLOS	Especímenes a usar	¿Realizado en CII?
Determinación de la forma y dimensiones	Regla metálica, cuña medidora de acero, escuadra metálica a 90° y superficie plana de acero o vidrio	10	Sí
Determinación de la absorción de agua	Balanza con capacidad mínima 2000g y sensibilidad de 0.5g.	5	Sí
Determinación de la succión	Bandejas, soportes para ladrillos, cuarto de temperatura constante con 21° C mas o menos 1.5 ° C	5	Sí
Determinación de la adherencia	Máquina universal	9	Sí
Determinación de la resistencia a la compresión	Máquina universal	5	Sí
Determinación de la resistencia a la Flexión.	Máquina universal	5	Sí
Determinación de la heladicidad	Un congelador y un estanque con agua a temperatura Normal	6	No
Determinación de eflorescencias	Recipiente con cierre que sólo deje visto el canto visto del ladrillo y estufa u horno capaz de producir 110° C.	6	No
Determinación de la masa	Balanza con una precisión de un gramo	6	No

Tabla XIX. Características de los ensayos a baldosas, dimensiones utilizadas

Ensayo	Especímenes a usar	Realizado	Dimensiones utilizadas
Muestreo e inspección	3 U. Por millar		No
Inspección visual	3 U. Por millar		No
Determinación de las dimensiones y masa	10		No
Forma y dimensiones	3		No
Absorción de agua	3	Sí	5 x 25 x 25 Industriales y artesanales
Resistencia al deslizamiento.	3	No	No
Agrietamiento en autoclave	3	No	No
Resistencia al desgaste o abrasión.	3	Sí	5 x 25 x 25 Industriales y artesanales
Resistencia al impacto	5	Sí	5 x 25 x 25 industriales y artesanales
Resistencia la flexión	5	Sí	5 x 25 x 25 industriales y artesanales
Expansión por humedad usando agua hirviendo.	5	No	No

Tabla XX. Características de los ensayos a ladrillos, dimensiones utilizadas

Ensayo	Especímenes a usar	Realizado	Dimensiones utilizadas
Determinación de la forma y dimensiones	10	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos a mano)
Determinación de la absorción de agua	5	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos)
Determinación de la succión	5	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos)
Determinación de la adherencia	9	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos)
Determinación de la resistencia a la compresión	5	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos)
Determinación de la resistencia a la Flexión.	5	Sí	23 x 11 x 6.5 Perforados tubulares macizos (hechos)
Determinación de la heladicidad	12	No	No se han hecho
Determinación de eflorescencias	6	No	No se han hecho
Determinación de la masa	6	No	No se han hecho

RESULTADOS

**Tabla XXI. Dimensiones y masa de las baldosas artesanales
medida nominal de 250 x 250 x 25 en mm**

Núm.	Longitudes en mm.		Grosor en mm.				X	Masa en gramos.
1	251.50	253.00	25.00	29.00	29.00	29.00	28.00	2635.00
2	253.00	251.50	29.00	28.00	27.50	29.00	28.38	2682.50
3	253.00	255.00	31.00	28.00	28.50	27.00	28.63	2689.00
4	255.00	255.40	29.00	29.00	28.00	25.50	27.88	2657.00
5	254.00	253.50	30.00	29.00	30.00	29.00	29.50	2762.00
6	253.00	253.00	28.00	29.00	28.00	28.00	28.25	2658.50
7	253.00	254.00	27.00	28.00	28.00	29.00	28.00	2653.50
8	254.00	253.00	28.00	30.00	28.00	26.00	28.00	2677.00
9	255.00	253.00	28.00	27.00	27.00	27.00	27.25	2723.50
10	252.00	255.00	29.00	27.00	28.00	28.50	28.13	2735.00
X	253.35	253.64					28.20	2687.30
σ	1.0966	1.1473					0.5511	38.6304

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXII. Variación en porcentajes para baldosas artesanales

Núm.	Longitud X	Variación (%)	Grosor X	Variación (%)
1	252.25	-0.90	28.00	-12.00
2	252.25	-0.90	28.38	-13.50
3	254.00	-1.60	28.63	-14.50
4	255.20	-2.08	27.88	-11.50
5	253.75	-1.50	29.50	-18.00
6	253.00	-1.20	28.25	-13.00
7	253.50	-1.40	28.00	-12.00
8	253.50	-1.40	28.00	-12.00
9	254.00	-1.60	27.25	-9.00
10	253.50	-1.40	28.13	-12.50

Tabla XXIII. Dimensiones y masa de baldosas industriales medida nominal de 250 x 250 x 2.5 en mm

Núm.	Longitudes en mm.		Grosor en mm		X	Masa en gramos.
1	250.20	250.00	26.00	25.00	25.50	2260.00
2	250.00	250.30	28.00	29.00	28.50	2234.00
3	251.00	251.00	26.00	27.00	26.50	2212.00
4	250.00	250.00	30.00	25.00	27.50	2258.00
5	252.00	251.00	25.00	30.00	27.50	2192.00
6	250.10	250.00	30.00	29.00	29.50	2206.00
7	251.00	252.00	30.00	30.00	30.00	2190.00
8	251.00	250.00	28.00	27.00	27.50	2236.00
9	250.00	250.00	25.00	27.00	26.00	2271.00
10	252.00	252.00	30.00	28.00	29.00	2289.00
X	250.73	250.63			27.75	2234.80
σ	0.7564	0.7824			1.4186	32.5755

Tabla XXIV. Variación en porcentajes para las baldosas industriales

Núm.	Longitud X	Variación (%)	Grosor X	Variación (%)
1	250.10	-0.04	25.50	-2.00
2	250.15	-0.06	28.50	-14.00
3	251.00	-0.40	26.50	-6.00
4	250.00	0.00	27.50	-10.00
5	251.50	-0.60	27.50	-10.00
6	250.05	-0.02	29.50	-18.00
7	251.50	-0.60	30.00	-20.00
8	250.50	-0.20	27.50	-10.00
9	250.00	0.00	26.00	-4.00
10	252.00	-0.80	29.00	-16.00

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXV. Forma para las baldosas artesanales

Núm.	Ortogonalidad	Planitud de Superficie
1	NO	NO
2	NO	NO
3	NO	NO
4	NO	NO
5	NO	NO
6	NO	NO
7	NO	NO
8	NO	NO
9	NO	NO
10	NO	NO

Tabla XXVI. Forma para baldosas industriales

Núm.	Ortogonalidad	Planitud de superficie
1	SÍ	SÍ
2	SÍ	SÍ
3	SÍ	SÍ
4	SÍ	NO
5	SÍ	SÍ
6	SÍ	SÍ
7	SÍ	SÍ
8	SÍ	SÍ
9	SÍ	SÍ
10	SÍ	SÍ

Tabla XXVII. Cambio volumétrico por autoclave

Probetas de baldosas artesanales antes del ensayo.									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
L	Medidas		X	Medidas		X	Medidas		X
L ₁	99.33	100.75	100.04	100.45	100.25	100.35	99.90	99.75	99.83
L ₂	99.30	99.30	99.30	101.35	100.16	100.76	98.90	99.95	99.43
L ₃	99.52	100.35	99.94	100.06	100.00	100.03	100.00	99.80	99.90
L ₄	99.52	99.37	99.45	101.25	100.06	100.66	99.00	100.00	99.50
L ₅	28.10	27.00	27.55	28.30	27.90	28.10	25.70	26.10	25.90
L ₆	28.60	28.50	28.55	27.80	27.55	27.68	26.40	25.65	26.03
L ₇	28.95	29.00	28.98	27.15	27.70	27.43	28.25	28.05	28.15
L ₈	27.60	27.40	27.50	27.95	27.55	27.75	28.42	27.75	28.09

Tabla XXVIII. Cambio volumétrico por autoclave

Probetas de baldosas artesanales después del ensayo									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
L	Medidas		X	Medidas		X	Medidas		X
L ₁	99.35	100.66	100.01	100.45	99.85	100.15	99.85	99.75	99.80
L ₂	99.20	99.40	99.30	101.30	100.35	100.83	98.95	99.95	99.45
L ₃	99.55	100.40	99.98	100.02	100.02	100.02	100.01	99.61	99.81
L ₄	99.45	99.31	99.38	101.25	100.00	100.63	98.95	100.00	99.48
L ₅	28.32	27.25	27.79	28.35	27.90	28.13	25.55	26.90	26.23
L ₆	28.45	27.90	28.18	27.25	27.60	27.43	26.60	25.60	26.10
L ₇	28.95	29.05	29.00	27.00	27.35	27.18	28.15	27.55	27.85
L ₈	27.40	27.35	27.38	27.60	28.00	27.80	28.20	27.65	27.93

X = Media aritmética

Tabla XXIX. Cambio volumétrico por autoclave totales (baldosas artesanales)

	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
L	Contracción			Contracción			Contracción		
L ₁	0.02	-0.09	-0.03	0.00	-0.40	-0.20	-0.05	0.00	-0.03
L ₂	-0.10	0.10	0.00	-0.05	0.19	0.07	0.05	0.00	0.03
L ₃	0.03	0.05	0.04	-0.04	0.02	-0.01	0.01	-0.19	-0.09
L ₄	-0.07	-0.06	-0.07	0.00	-0.06	-0.03	-0.05	0.00	-0.03
L ₅	0.78	0.92	0.85	0.18	0.00	0.09	-0.59	2.97	1.24
L ₆	-0.53	-2.15	-1.33	-2.02	0.18	-0.91	0.75	-0.20	0.29
L ₇	0.00	0.17	0.09	-0.56	-1.28	-0.92	-0.36	-1.81	-1.08
L ₈	-0.73	-0.18	-0.46	-1.27	1.61	0.18	-0.78	-0.36	-0.57
X			-0.11			-0.22			-0.03

Tabla XXX. Cambio volumétrico por autoclave (baldosas industriales)

Probetas de baldosas industriales antes del ensayo.									
	Probeta No.1			Probeta No.2			Probeta No.3		
L	Medidas		X	Medidas		X	Medidas		X
L ₁	100.55	100.40	100.48	100.25	100.30	100.28	100.55	100.65	100.60
L ₂	100.10	100.85	100.48	99.95	100.95	100.45	100.30	100.45	100.38
L ₃	99.90	100.50	100.20	100.00	100.10	100.05	100.15	100.45	100.30
L ₄	100.85	100.60	100.73	100.95	100.85	100.90	100.95	101.15	101.05

X = Media aritmética

Tabla XXXI. Cambio volumétrico por autoclave

Probetas de baldosas industriales después del ensayo									
	Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
L	Medidas		X	Medidas		X	Medidas		X
L ₁	100.00	100.40	100.20	100.25	100.45	100.35	100.60	100.70	100.65
L ₂	100.05	100.90	100.48	100.00	100.95	100.48	100.45	100.35	100.40
L ₃	100.00	100.10	100.05	100.00	100.10	100.05	100.45	100.45	100.45
L ₄	100.90	100.70	100.80	100.10	100.90	100.50	100.10	101.15	100.63

Tabla XXXII. Cambio volumétrico por autoclave totales (baldosas industriales)

	Probeta 1			Probeta .2			Probeta 3		
L	Contracción			Contracción			Contracción		
L ₁	-0.55	0.00	-0.27	0.00	0.15	0.07	0.05	0.05	0.05
L ₂	-0.05	0.05	0.00	0.05	0.00	0.02	0.15	-0.10	0.02
L ₃	0.10	-0.40	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.15
L ₄	0.05	0.10	0.07	-0.85	0.05	-0.40	-0.85	0.00	-0.42
X			-0.09			-0.07			-0.05

X = Media aritmética

Tabla XXXIII. Determinación de la expansión, probetas artesanales

Probetas artesanales												
Probeta 1	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.55	99.95	0.40	99.50	99.50	0.00	99.30	99.20	-0.10	99.30	99.20	-0.10
Medio	99.45	99.45	0.00	99.55	99.55	0.00	99.45	99.50	0.05	99.50	99.50	0.00
Derecho	99.40	99.40	0.00	99.30	99.25	-0.05	99.55	99.60	0.05	99.50	99.55	0.05
X	99.47	99.60	0.13	99.45	99.43	-0.02	99.43	99.43	0.00	99.43	99.42	-0.02
σ	0.062	0.25		0.11	0.13		0.10	0.17		0.09	0.15	
Probeta 2	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.40	99.35	-0.05	99.05	99.05	0.00	99.35	99.35	0.00	99.35	99.30	-0.05
Medio	99.50	99.45	-0.05	99.35	99.40	0.05	99.40	99.40	0.00	99.40	99.40	0.00
Derecho	99.40	99.40	0.00	99.30	99.35	0.05	99.20	99.22	0.02	99.10	99.15	0.05
X	99.43	99.40	-0.03	99.23	99.27	0.03	99.32	99.32	0.01	99.28	99.28	0.00
σ	0.05	0.04		0.13	0.15		0.08	0.08		0.13	0.10	
Probeta 3	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.80	99.80	0.00	100.20	100.25	0.05	100.50	100.10	-0.40	99.50	99.45	-0.05
Medio	100.00	100.00	0.00	99.05	99.85	0.81	100.20	100.30	0.10	101.00	100.10	-0.89
Derecho	99.90	99.80	-0.10	99.50	99.50	0.00	101.50	100.10	-1.38	102.00	100.25	-1.72
X	99.90	99.87	-0.03	99.58	99.87	0.28	100.73	100.17	-0.56	100.83	99.93	-0.89
σ	0.08	0.09		0.47	0.31		0.56	0.09		1.03	0.35	
Probeta 4	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.30	99.35	0.05	99.20	99.20	0.00	99.65	99.55	-0.10	99.55	99.55	0.00
Medio	99.60	99.60	0.00	99.35	99.35	0.00	99.65	99.60	-0.05	99.60	95.50	-4.12
Derecho	99.50	99.50	0.00	99.50	99.50	0.00	99.45	99.40	-0.05	99.20	99.25	0.05
X	99.47	99.48	0.02	99.35	99.35	0.00	99.58	99.52	-0.07	99.45	98.10	-1.36
σ	0.12	0.10		0.12	0.12		0.09	0.08		0.18	1.84	
Probeta 5	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.75	99.75	0.00	99.55	99.55	0.00	99.55	99.60	0.05	99.65	99.60	-0.05
Medio	99.60	99.65	0.05	99.65	99.65	0.00	99.65	99.65	0.00	99.75	99.70	-0.05
Derecho	99.65	99.70	0.05	99.60	99.60	0.00	99.60	99.65	0.05	99.50	99.50	0.00
X	99.67	99.70	0.03	99.60	99.60	0.00	99.60	99.63	0.03	99.63	99.60	-0.03
σ	0.06	0.04		0.04	0.04		0.04	0.02		0.10	0.08	

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXXIV Determinación de la expansión, probetas artesanales

Probetas artesanales												
Probeta 1	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.75	34.70	-0.14	29.60	29.45	-0.51	34.55	34.55	0.00	28.70	28.55	-0.52
Medio	34.85	34.85	0.00	29.60	29.55	-0.17	34.65	34.65	0.00	28.30	28.25	-0.18
Derecho	34.50	34.60	0.29	28.85	28.90	0.17	34.75	34.75	0.00	28.15	28.00	-0.53
X	34.70	34.72	0.05	29.35	29.30	-0.17	34.65	34.65	0.00	28.38	28.27	-0.41
σ	0.15	0.10		0.35	0.29		0.08	0.08		0.23	0.22	
Probeta 2												
Probeta 2	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.25	34.25	0.00	28.85	28.30	-1.91	34.35	34.75	1.16	28.20	28.25	0.18
Medio	34.55	34.50	-0.14	28.65	28.90	0.87	34.50	34.50	0.00	28.15	28.05	-0.36
Derecho	34.55	34.55	0.00	28.40	28.75	1.23	34.75	34.80	0.14	28.20	28.40	0.71
X	34.45	34.43	-0.05	28.63	28.65	0.06	34.53	34.68	0.43	28.18	28.23	0.18
σ	0.14	0.13		0.18	0.25		0.16	0.13		0.02	0.14	
Probeta 3												
Probeta 3	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.50	34.55	0.14	25.70	25.85	0.58	34.30	34.25	-0.15	27.50	27.50	0.00
Medio	34.60	34.60	0.00	25.90	25.35	-2.12	34.45	34.45	0.00	27.75	27.65	-0.36
Derecho	34.50	34.50	0.00	26.00	25.70	-1.15	34.50	34.40	-0.29	28.00	27.80	-0.71
X	34.53	34.55	0.05	25.87	25.63	-0.90	34.42	34.37	-0.15	27.75	27.65	-0.36
σ	0.05	0.04		0.12	0.21		0.08	0.08		0.20	0.12	
Probeta 4												
Probeta 4	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.50	34.55	0.14	29.60	29.65	0.17	34.75	34.75	0.00	29.70	29.70	0.00
Medio	34.70	34.65	-0.14	29.50	29.55	0.17	35.00	34.90	-0.29	38.00	30.30	-20.26
Derecho	34.50	34.70	0.58	29.60	29.55	-0.17	34.95	34.95	0.00	38.00	30.30	-20.26
X	34.57	34.63	0.19	29.57	29.58	0.06	34.90	34.87	-0.10	35.23	30.10	-14.57
σ	0.09	0.06		0.05	0.05		0.11	0.08		3.91	0.28	
Probeta 5												
Probeta 5	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	35.00	34.55	-1.29	29.20	29.10	-0.34	35.00	35.00	0.00	29.05	29.00	-0.17
Medio	34.65	34.65	0.00	29.45	29.20	-0.85	38.00	34.40	-9.47	29.00	29.05	0.17
Derecho	34.50	34.50	0.00	29.60	29.40	-0.68	37.00	30.20	-18.38	29.05	29.05	0.00
X	34.72	34.57	-0.43	29.42	29.23	-0.62	36.67	33.20	-9.45	29.03	29.03	0.00
σ	0.21	0.06		0.16	0.12		1.25	2.14		0.02	0.02	

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXXV. Determinación de la expansión, probetas industriales

Baldosas para ensayo determinación de la expansión

Probeta 1	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	100.95	101.00	0.05	100.90	101.05	0.15	100.70	100.75	0.05	100.80	100.86	0.06
Medio	100.85	100.90	0.05				100.80	100.86	0.06			
Derecho	100.80	100.85	0.05	100.90	100.95	0.05	109.00	100.96	-7.38	100.80	100.85	0.05
X	100.87	100.92	0.05	100.90	101.00	0.10	103.50	100.86	-2.55	100.80	100.86	0.05
σ	0.06	0.06		0.00	0.05		3.89	0.09		0.00	0.01	

Probeta 2	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.50	99.55	0.05	99.80	99.82	0.02	99.65	99.65	0.00	99.65	99.70	0.05
Medio	99.75	99.75	0.00				99.60	99.65	0.05			
Derecho	99.70	99.70	0.00	99.70	99.75	0.05	99.65	99.70	0.05	99.70	99.70	0.00
X	99.65	99.67	0.02	99.75	99.79	0.04	99.63	99.67	0.03	99.68	99.70	0.03
σ	0.11	0.08		0.05	0.03		0.02	0.02		0.02	0.00	

Probeta 3	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	99.45	99.45	0.00	99.70	99.72	0.02	99.50	99.60	0.10	99.60	99.67	0.07
Medio	99.45	99.50	0.05				99.50	99.55	0.05			
Derecho	99.55	99.65	0.10	99.50	99.65	0.15	99.50	99.50	0.00	99.65	99.70	0.05
X	99.48	99.53	0.05	99.60	99.69	0.09	99.50	99.55	0.05	99.63	99.69	0.06
σ	0.05	0.08		0.10	0.04		0.00	0.04		0.03	0.02	

Probeta 4	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	100.55	100.60	0.05	100.88	100.90	0.02	100.66	100.75	0.09	100.70	100.75	0.05
Medio	100.60	100.68	0.08				100.60	100.70	0.10			
Derecho	100.70	100.75	0.05	100.63	100.65	0.02	100.50	100.60	0.10	100.70	100.75	0.05
X	100.62	100.68	0.06	100.76	100.78	0.02	100.59	100.68	0.10	100.70	100.75	0.05
σ	0.06	0.06		0.13	0.12		0.07	0.06		0.00	0.00	

Probeta 5	Cara 1			Cara 2			Cara 3			Cara 4		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	101.10	101.15	0.05	101.78	101.80	0.02	101.55	101.60	0.05	101.15	101.21	0.06
Medio	101.30	101.35	0.05				101.45	101.50	0.05			
Derecho	101.45	101.33	-0.12	101.33	101.45	0.12	101.31	101.36	0.05	101.55	101.65	0.10
X	101.28	101.28	-0.01	101.56	101.63	0.07	101.44	101.49	0.05	101.35	101.43	0.08
σ	0.14	0.09		0.22	0.17		0.10	0.10		0.20	0.22	

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXXVI. Determinación de la expansión, probetas industriales

Probeta 1	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.60	34.75	0.43	16.75	16.80	0.30	35.50	35.30	-0.56	16.90	16.85	-0.30
Medio	34.65	34.80	0.43	17.00	17.50	2.94	35.15	35.20	0.14	17.00	17.05	0.29
Derecho	34.80	34.90	0.29	17.50	17.55	0.29	35.20	35.10	-0.28	17.55	17.40	-0.85
X	34.68	34.82	0.38	17.08	17.28	1.17	35.28	35.20	-0.24	17.15	17.10	-0.29
σ	0.08	0.06		0.31	0.34		0.15	0.08		0.29	0.23	

Probeta 2	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp									
Izquierdo	34.35	34.35	0.00	16.80	16.80	0.00	34.65	34.75	0.29	16.85	16.85	0.00
Medio	34.55	34.55	0.00	16.70	16.75	0.30	34.65	34.65	0.00	16.75	16.75	0.00
Derecho	34.60	34.60	0.00	17.15	17.15	0.00	34.55	34.60	0.14	17.00	17.05	0.29
X	34.50	34.50	0.00	16.88	16.90	0.10	34.62	34.67	0.14	16.87	16.88	0.10
σ	0.11	0.11		0.19	0.18		0.05	0.06		0.10	0.12	

Probeta 3	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	35.19	35.20	0.03	17.20	17.20	0.00	34.90	35.00	0.29	17.05	17.05	0.00
Medio	35.20	35.25	0.14	16.50	16.45	-0.30	35.00	35.10	0.29	16.25	16.30	0.31
Derecho	35.20	35.15	-0.14	16.70	16.75	0.30	34.95	35.00	0.14	16.55	16.60	0.30
X	35.20	35.20	0.01	16.80	16.80	0.00	34.95	35.03	0.24	16.62	16.65	0.20
σ	0.00	0.04		0.29	0.31		0.04	0.05		0.33	0.31	

Probeta 4	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	34.65	34.65	0.00	16.11	16.15	0.25	34.95	34.85	-0.29	16.09	16.10	0.06
Medio	34.60	34.60	0.00	16.50	16.50	0.00	34.92	34.92	0.00	16.55	16.60	0.30
Derecho	34.62	34.60	-0.06	17.00	17.00	0.00	34.95	35.00	0.14	16.90	16.90	0.00
X	34.62	34.62	-0.02	16.54	16.55	0.08	34.94	34.92	-0.05	16.51	16.53	0.12
σ	0.02	0.02		0.36	0.35		0.01	0.06		0.33	0.33	

Probeta 5	Cara 5			Cara 6			Cara 7			Cara 8		
	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp	L ₀	L ₁	Exp
Izquierdo	35.15	35.10	-0.14	17.21	17.21	0.00	35.75	35.75	0.00	17.20	17.20	0.00
Medio	35.15	35.15	0.00	17.00	17.05	0.29	35.80	35.83	0.08	17.00	17.10	0.59
Derecho	35.20	35.20	0.00	17.55	17.55	0.00	35.85	36.00	0.42	17.40	17.52	0.69
X	35.17	35.15	-0.05	17.25	17.27	0.10	35.80	35.86	0.17	17.20	17.27	0.43
σ	0.02	0.04		0.23	0.21		0.04	0.10		0.163	0.18	

X = Media aritmética; σ = Desviación típica o estándar

Tabla XXXVII. Determinación de la expansión, resumen de expansión/contracción

	Baldosas artesanales		Baldosas industriales	
Probeta 1	Media en %	Conclusión	Media en %	Conclusión
Izquierdo	-0.12161143		0.02252037	
Medio	-0.03691511		0.48994306	
Derecho	-0.0024462		-0.97413845	
Media	-0.05410482	Contracción	-0.16540869	Contracción
Probeta 2				
Izquierdo	-0.08315665		0.0511334	Expansión
Medio	0.04658983		0.04370025	Expansión
Derecho	0.27580837		0.06739519	Expansión
Media	0.0785476	Expansión	0.05654006	Expansión
Probeta 3				
Izquierdo	0.02305644		0.06322424	Expansión
Medio	-0.30844104		0.06661869	Expansión
Derecho	-0.66913546		0.11298919	Expansión
Media	-0.32042367	Contracción	0.0868233	Expansión
Probeta 4				
Izquierdo	0.03298096		0.02911684	Expansión
Medio	-3.08626429		0.06013016	Expansión
Derecho	-2.48153		0.0379967	Expansión
Media	-1.97793365	Contracción	0.04500315	Expansión
Probeta 5				
Izquierdo	-0.22503083		0.00442667	Expansión
Medio	-1.26876142		0.13309944	Expansión
Derecho	-2.3692097		0.15700405	Expansión
Media	-1.3095485	Contracción	0.10421661	Expansión

Tabla XXXVIII. Determinación de la resistencia a la heladicidad.

No.	LADRILLOS INDUSTRIALES			ARTESANALES
	PERFORADO Tipo A, clase P	TUBULAR Tipo A, clase T	MACIZO Tipo B, clase M	MACIZO Tipo B, clase M
1	Pequeños cambios en las caras laterales.	No presenta cambios	Una fisura en cara lateral.	Exfoliaciones y pequeños desprendimientos en aristas
2	No presenta cambios	No presenta cambios	Una fisura en cara lateral.	Desconchados y desprendimientos en aristas
3	No presenta cambios	Presenta pequeñas exfoliaciones	Una fisura en cara lateral.	Exfoliaciones y pequeños desprendimientos en aristas
4	No presenta cambios	No presenta cambios	Dos fisuras en cara lateral.	Exfoliaciones y pequeños desprendimientos en aristas
5	Pequeñas fisuras en caras planas	No presenta cambios	Una fisura en cara lateral.	Exfoliaciones y pequeños desprendimientos en aristas
6	No presenta cambios	No presenta cambios	Dos fisuras en cara lateral.	Exfoliaciones y pequeños desprendimientos en aristas
	HELADIZO	HELADIZO	HELADIZO	HELADIZO

Tabla XXXIX. Eflorescencias

No.	LADRILLOS INDUSTRIALES			ARTESANALES
	PERFORADO Tipo A, clase P	TUBULAR Tipo A, clase T	MACIZO Tipo B, clase M	MACIZO Tipo B, clase M
1	LEF	LEF	MUY EF	LEF
2	LEF	LEF	MUY EF	LEF
3	LEF	EF	LEF	NEF
4	NEF	EF	LEF	NEF
5	NEF	EF	MUY EF	NEF
	LIGERAMENTE EFLORESCIDO	EFLORESCIDO	EFLORESCIDO	LIGERAMENTE EFLORESCIDO

Tabla XL. Determinación de la masa para ladrillos

DETERMINACION DE LA MASA PARA LADRILLOS EN GRAMOS				
No.	LADRILLOS INDUSTRIALES			ARTESANALES
	PERFORADO Tipo A, clase P	TUBULAR Tipo A, clase T	MACIZO Tipo B, clase M	MACIZO Tipo B, clase M
1	2614	2046.5	3175	2055
2	2574	2002.5	3170	2019
3	2717.5	2010	3122.5	2078
X	2635.17	2019.67	3155.83	2050.67
σ	60.47	19.22	23.66	24.28