



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

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE
MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA
DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS**

Juan Manuel Morales Cano

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS
DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA
DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN MANUEL MORALES CANO

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

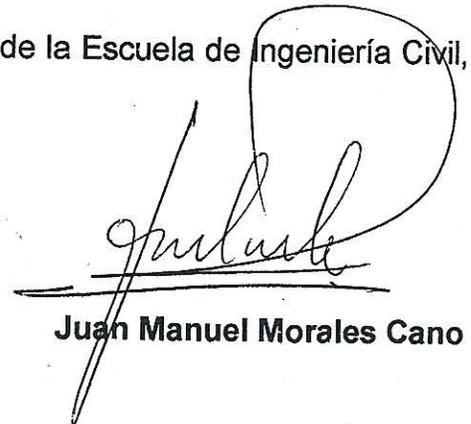
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Calvin Enrique Estrada Barrera
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
en agosto de 2009.



Juan Manuel Morales Cano

Guatemala, mayo 2012

**INGENIERO
GUILLERMO MELINI SALGUERO
COORDINADOR AREA DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD SAN CARLOS
PRESENTE**

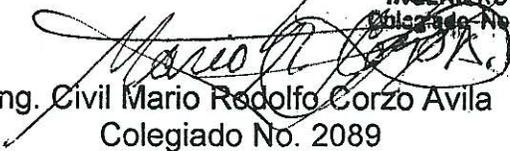
Ingeniero Melini

Por este medio, hago notificar que he revisado el trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS**, del estudiante Juan Manuel Morales Cano con carné 8511563, previo a optar al título de Ingeniero Civil, habiéndole encontrado completamente satisfactorio.

Sin otro particular me suscribo de usted atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

**Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089**


Ing. Civil Mario Rodolfo Corzo Avila
Colegiado No. 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
3 de septiembre de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Manuel Morales Cano, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Juan Manuel Morales Cano, titulado **EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2012.

/bbdeb.



DTG. 537.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SAN MARCOS**, presentado por el estudiante universitario **Juan Manuel Morales Cano**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 25 de octubre de 2012



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su inmensa benevolencia para conmigo.
Mi familia	Por el apoyo incondicional que siempre me han brindado.
Mi esposa	Por ser la persona especial que complementa mi vida.
Mis amigos	Para todos ellos, por brindarme su amistad.
Mis profesores y catedráticos	Por la paciencia en enseñarme a lo largo de tantos años y culminar de esta manera.
Mi asesor	Por su invaluable ayuda.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	15
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS QUE LOS AGREGADOS DEBEN POSEER	1
1.1. Especificaciones técnicas	1
1.1.1. Especificaciones generales sobre agregados	2
1.1.2. Especificaciones para agregados livianos	3
1.2. Características y propiedades	4
1.2.1. Físicas	4
1.2.2. Mecánicas.....	6
1.2.3. Químicas.....	7
2. DETERMINACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CANTERAS	9
2.1. Morfología.....	9
2.2. Disponibilidad	11
2.3. Ubicación, acceso y distancia	12
2.4. Forma y volumen explotable	13

3.	ENSAYOS PRIMARIOS PARA DETERMINAR LOS PERFILES DE CALIDAD DE LOS MATERIALES	15
3.1.	Ensayos de campo	16
3.2.	Ensayos de laboratorio	17
4.	DISEÑO Y REALIZACIÓN DE MEZCLAS	25
4.1.	Dosificación de mezclas	25
4.1.1.	Cálculo de cantidades de agregado	25
4.1.2.	Relación agua-cemento	26
4.2.	Análisis de resultados	27
4.2.1.	Asentamiento	27
4.2.2.	Peso unitario	29
4.2.3.	Rendimiento	29
4.2.4.	Resistencia a temprana edad	30
4.2.5.	Resistencia a 28 días	30
5.	CURADO DE LAS PIEZAS TERMINADAS DE MAMPOSTERÍA	33
5.1.	Temperatura y humedad de la zona	33
5.2.	Métodos de curado	34
5.3.	Uso de aditivos para incrementar resistencia a temprana edad	36
5.3.1.	Definición, empleo y clasificación	37
5.3.2.	Ensayo a la compresión de concreto con aditivos ...	41
5.3.2.1.	Comparación de resultados	43
5.3.3.	Incidencia en el costo de las piezas de mampostería	43

6.	ANÁLISIS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA.....	45
6.1.	Normas aplicables	45
6.1.1.	Normas ASTM	45
6.1.2.	Normas COGUANOR	46
6.2.	Ensayos para determinación de características y propiedades físico-mecánicas	49
6.2.1.	Determinación de las dimensiones y peso	50
6.2.2.	Porcentaje de absorción del agua	51
6.2.3.	Determinación de la resistencia a la compresión	52
7.	PROCESOS DE PRODUCCIÓN	53
7.1.	Tecnología.....	53
7.2.	Cantidad de maquinaria.....	55
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES.....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Curva granulométrica. Agregado fino, cantera Chamac	22
2.	Curva granulométrica. Agregado liviano, cantera San José Las Islas.....	22
3.	Curva granulométrica. Agregado grueso, cantera el Recreo	23
4.	Curva granulométrica. Agregado grueso, cantera la Federación.....	23
5.	Formas de revenimiento.....	28
6.	Dimensiones del block	50

TABLAS

I.	Requisitos granulométricos de los agregados	5
II.	Requisitos para la masa unitaria de los agregados livianos	6
III.	Porcentaje de impurezas por peso (%IP).	16
IV.	Ensayo de materia orgánica. Clasificación colorimétrica.	17
V.	Ensayos de laboratorio. Agregados de la cabecera departamental de San Marcos.	21
VI.	Ensayos de laboratorio. Agregados de la cabecera departamental de San Marcos.	21
VII.	Dosificación de mezclas. Cantidad de agregados	26
VIII.	Diseño y realización de mezclas. Análisis de resultados mezcla 1.	31
IX.	Diseño y realización de mezclas. Análisis de resultados mezcla 2.	32
X.	Predicción de resistencia a compresión forma empírica.....	32
XI.	Clasificación de los aditivos por su uso.	41
XII.	Ensayo a la compresión. Concreto con aditivo Moldac.....	42

XIII.	Comparación de resistencia	43
XIV.	Costo de las mezclas.	44
XV.	Número de muestras para ensayos de laboratorio.	46
XVI.	Tipos de block.....	46
XVII.	Clases de block.....	47
XVIII.	Grados del block	47
XIX.	Resistencia a la compresión.....	48
XX.	Número de muestras por tamaño de lote	48
XXI.	Número de muestras por ensayo	49
XXII.	Dimensiones y peso del block	50
XXIII.	Absorción de agua	51
XXIV.	Resistencia a la compresión.....	52
XXV.	Fábricas ubicadas en cabecera departamental de San Marcos	54
XXVI.	Maquinaria disponible por fábrica.....	55

GLOSARIO

Aditivo	Componente orgánico o inorgánico cuyo uso pretende modificar las características mecánicas del concreto.
Agregado	Material granular usado como componente principal en el concreto para fabricación de block.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Cantera	Explotación minera a cielo abierto a pequeña escala.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cohesión	Fuerza que mantiene unidas a varias partículas.
Curado	Término común usado para definir cualquier método de fraguado del concreto.
Dosificación	Es la proporción adecuada de cada elemento que compone el concreto a fin de obtener una resistencia y durabilidad requerida.
Fraguado	Reacción producido por el contacto entre el agua y el cemento y que propicia el endurecimiento de la mezcla.

Granulometría	Clasificación y graduación por tamaños de un material granular heterogéneo.
Mampostería	Sistema tradicional de construcción de muros mediante la colocación manual de elementos sobrepuestos.
NGO	Norma Guatemalteca Obligatoria.
Plasticidad	Propiedad mecánica de un material de deformarse cuando está sometido a tensión.
Pómez	Roca ígnea volcánica con baja densidad y muy porosa de color blanco o gris.
Puzolana	Material silicio de origen volcánico componente del cemento tipo Portland.
Revenimiento	Grado de consistencia de un concreto recién fabricado y que se realiza por medio de un ensayo estándar por medio del Cono de Abrahams.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación está enfocado en determinar la calidad de los materiales disponibles en la cabecera departamental de San Marcos, para la fabricación de block usados en la construcción de muros o sistemas de mampostería.

Se detallan las propiedades físicas y mecánicas de los materiales determinadas tanto en ensayos de campo como de laboratorio y se proponen mezclas para la verificación de la resistencia de las piezas.

Se hace mención de las normas nacionales e internacionales que se aplican a los materiales utilizados en la fabricación, así como las relacionadas al producto final. También se desarrolla el tema de los aditivos para las mezclas y para el fraguado, indicando de manera concisa los beneficios que se obtienen en su uso.

Por último se menciona brevemente la tecnología para la fabricación de block disponible en el área bajo estudio así como la capacidad instalada de cada fábrica, haciendo énfasis en el grado de calidad que se puede obtener con estos recursos.

OBJETIVOS

General

Recopilar la información pertinente, ubicar y recolectar muestras de campo de los agregados, realizar los ensayos de campo y de laboratorio para establecer las propiedades físico-mecánicas de los agregados y determinar la dosificación que permita la consecución de la mezcla adecuada a utilizar en la fabricación de piezas de mampostería.

Específicos

1. Proporcionar a cualquier persona interesada en el tema, un documento de guía y orientación para la obtención de mezclas adecuadas para la fabricación de piezas de mampostería.
2. Proporcionar a la Universidad de San Carlos de material bibliográfico que sirva de apoyo como documento de consulta.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Guatemala, la mampostería es utilizada en la construcción de la mayoría de edificaciones como: viviendas, escuelas, iglesias y otros, debido a su bajo costo y facilidad de adquisición.

Los altos costos de transporte de piezas fabricadas en empresas ubicadas especialmente en la capital del país, que garantizan la calidad de los agregados y del producto terminado, hacen que la mayoría de personas fuera del perímetro capitalino, adquieran el producto que ofrecen pequeñas fábricas locales, salvo que la magnitud e importancia de la obra a realizar amerite lo contrario.

Mediante el desarrollo del trabajo de graduación se pretende establecer el procedimiento para obtener adecuadas mezclas a utilizar en la elaboración de elementos de mampostería; desde la determinación de las propiedades físico-mecánicas, perfiles de calidad y ensayos primarios a que son sometidos los agregados, hasta llegar al diseño y la elaboración de la mezcla.

Las piezas de mampostería terminadas pueden presentar propiedades físico-mecánicas aceptables, si sus agregados son cualitativa y cuantitativamente adecuados, como si son sometidas a un apropiado fraguado o curado, inmediatamente después de fabricadas, lo que se reflejará en un producto de calidad con la resistencia adecuada.

1. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS QUE LOS AGREGADOS DEBEN POSEER

Los agregados para la mezcla de concreto utilizados en la fabricación de piezas de mampostería, constituyen aproximadamente el ochenta y cinco por ciento del volumen total de dicha mezcla.

Ante la notable contribución de los agregados al volumen total de la mezcla, las características y propiedades de los mismos son el factor de mayor incidencia en la calidad y el costo del producto final.

La calidad de la mezcla será aquella que asegure piezas de mampostería resistentes a los esfuerzos sometidos, de adecuada densidad y buena apariencia. Para poder lograr lo anterior, es recomendable en la medida de lo posible, seguir las especificaciones técnicas que rigen las características y propiedades de los agregados a utilizar.

1.1. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas, son exigencias y/o procedimientos solicitados en normas aplicables a las características cualitativas de los agregados a utilizar en la fabricación del block.

Actualmente estas especificaciones son de observancia general, y no de carácter obligatorio para las empresas que se dedican a la fabricación de block y las mismas se detallan a continuación.

1.1.1. Especificaciones generales sobre agregados

Se rigen de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C 33: *Las especificaciones estándar para agregados del concreto*, de la *American Society for Testing and Materials*, ASTM, (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales).

Las especificaciones referidas hacen énfasis en el uso de agregados finos y gruesos pero no ligeros (que pasa tamiz No. 200), compuestos por materiales inorgánicos inertes, por ejemplo: piedra partida, granulados volcánicos, puzolanas, piedra pómez, y otros.

Para lograr la determinación exacta de las características físicas, mecánicas y químicas de los agregados para concreto y la influencia de estas en la calidad del concreto, se necesita realizar una serie de ensayos, enmarcados en la mencionada norma.

Existen además otros ensayos importantes como el *Método de ensayo para reactividad de los agregados*, ASTM C 289; el *Método de ensayo para cambio potencial de volumen en combinaciones cemento – agregado*, ASTM C 342; y el *Método de ensayo para reactividad alcalina potencial de rocas carbonatadas para agregados de concreto*, ASTM C 586.

Los ensayos referidos anteriormente, son necesarios para determinar el grado de contaminación a que están sometidos los agregados, la composición química de los mismos y su posible reacción con la pasta cementante, fundamental en la durabilidad del concreto.

Las Normas nacionales aplicables a los agregados utilizados en el concreto, las establece la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR del Ministerio de Economía. Estas normas son la: NGO 41 006: *Terminología referente al hormigón y a los agregados para hormigón*, NGO 41 008: *Agregados o áridos, Especificaciones para los agregados de baja densidad empleados en bloques de hormigón* y NGO 41 054 inciso 6: *Bloques huecos de hormigón para paredes o muros, y tabiques*.

1.1.2. Especificaciones para agregados livianos

Los agregados livianos, se rigen de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM C 331: *Especificaciones estándar para agregados livianos para unidades de mampostería de concreto*.

Estas especificaciones hacen referencia a la clasificación de los agregados livianos tomando como esencial su bajo peso, el tipo u origen del agregado, y el resultado de la granulometría por medio del tamizado de los mismos.

La Norma ASTM C 331 rige sobre tres tipos de agregados livianos:

- Agregados resultantes de la expansión, la explosión y el procesamiento de productos como la escoria de altos hornos, arcilla, diatomita, cenizas, esquistos o pizarra.
- Agregados resultantes del procesamiento de materiales naturales como la piedra pómez, escoria, y otros.
- Residuos de carbón o algunos materiales usados en combustión.

Además, los agregados livianos deben estar compuestos primordialmente de material granular o celular inorgánico de baja densidad.

En Guatemala, el agregado liviano más utilizado en la fabricación de piezas de mampostería es la piedra pómez, por lo que la norma antes mencionada si es aplicable.

1.2. Características y propiedades

Cualquier agregado utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, debe poseer características y propiedades particulares para que sea aceptado como tal.

Las propiedades y características que se detallan a continuación, corresponden a los agregados livianos utilizados en las mezclas para la elaboración de piezas de mampostería y se basan en las Normas ASTM C 331 y COGUANOR NGO 41 006.

1.2.1. Físicas

Los agregados deberán reunir las siguientes características y propiedades:

- La cantidad de partículas de arcilla presentes no deben exceder el dos por ciento (2%) del total del peso seco del agregado.
- La clasificación de los agregados se realizará de acuerdo a la tabla I, detallada en la siguiente hoja y que indica los porcentajes de materia que pasan los cedazos de diferentes calibres.

- El módulo de finura de los agregados no deberá exceder en un siete por ciento (7%) el módulo de finura de una muestra previa considerada aceptable.
- La masa unitaria de los agregados sueltos y secos podrá servir para clasificar el tipo del mismo, de acuerdo a la tabla II la cual se detalla en la siguiente página.
- El peso de los agregados sueltos y secos no deberá exceder en un diez por ciento (10%) el peso de una muestra previa considerada aceptable.

Tabla I. **Requisitos granulométricos de los agregados**

DESIGNACIÓN POR TAMAÑO	PORCENTAJES EN MASA QUE PASAN LOS CEDAZOS DE ABERTURA CUADRADA							
	19,0 mm (3/4 plg)	12,5 mm (1/2 plg)	9,5 mm (3/8 plg)	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm	No. 50 300 μ m	No. 100 150 μ m
Agregado fino: (No. 4) 4,75 mm o menor	-	-	100	85 - 100	40 - 80	40 - 80	10 - 35	5 - 25
Agregado grueso:								
12,5 a 4,75 mm	100	90 - 100	40 - 80	0 - 20	0 - 10	-	-	-
9,5 a 2,36 mm	-	100	80 - 100	5 - 40	0 - 20	-	-	-
Agregados finos y gruesos mezclados:								
12,5 mm o menor	100	95 - 100	-	50 - 80	-	-	5 - 20	2 - 15
9,5 mm o menor	-	100	90 - 100	65 - 90	35 - 65	-	10 - 25	5 - 15

Fuente: ASTM C331-89, Especificaciones para agregados livianos utilizados en unidades de mampostería de concreto, volumen 04.02 p. 195.

Tabla II. **Requisitos para la masa unitaria de los agregados livianos**

DESIGNACIÓN POR TAMAÑO	MASA DE MATERIAL SUELTO Y SECO kg / m ³ MAXIMO
Agregado fino	1 120
Agregado grueso	880
Agregados finos y gruesos mezclados	1 040

Fuente: ASTM C331-89: Especificaciones para agregados livianos utilizados en unidades de mampostería, volumen 04.02 p. 195.

1.2.2. Mecánicas

Para que el concreto tenga la resistencia deseada, los agregados utilizados en su elaboración no pueden ser estructuralmente débiles.

Factores como el origen de la partícula, la forma, la textura superficial y su gradación entre otros, afectan la calidad del concreto, sin embargo, ensayos individuales en los agregados por ejemplo el de la resistencia a la compresión o el módulo elástico, no aportan datos concisos a cerca de su contribución en la resistencia final del concreto.

La prueba que se puede aplicar para determinar la calidad estructural del agregado es la resistencia al desgaste o de Los Ángeles, bajo la Norma ASTM C 131. En esta prueba una muestra del agregado, previamente graduada y pesada, es colocada en un tambor hueco junto con bolas de acero los cuales se hacen girar determinada cantidad de revoluciones, así el agregado experimenta frotamiento, vuelco e impacto.

Al finalizar, una nueva medición de la muestra determinará la cantidad que se ha quebrado hasta un tamaño más fino que el del tamiz No. 12.

La prueba de desgaste parece ser un parámetro útil de la integridad estructural del agregado.

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión en morteros, en probetas de concreto o en piezas terminadas de mampostería, es la mejor manera de establecer si las propiedades mecánicas de los agregados utilizados son las adecuadas.

1.2.3. Químicas

Los agregados no deberán contener excesivas cantidades de sustancias objetables o dañinas y no deberán sobrepasar los siguientes límites:

- Impurezas orgánicas. Los agregados al ser sometidos a la prueba de impurezas orgánicas producen un color oscuro el cual no debe ser mayor que el de la muestra tomada como patrón, a menos que se pueda demostrar que dicha coloración es debida a pequeñas cantidades de materiales no dañinos para el concreto.
- Sustancias productoras de manchas. Los agregados al ser sometidos a la prueba para detectar materiales que producen manchas son clasificados como fuertemente manchables o más oscuros que el parámetro visual de manchas establecido.
Usando procedimientos químicos, deberá establecerse el contenido de óxido férrico en los agregados. Aquellos agregados que contengan 1,5

miligramos o más de óxido férrico (Fe_2O_3), no se deberán emplear en la fabricación de block.

- Pérdida por ignición. La pérdida por ignición de los agregados consistentes de escoria, no deberá exceder del treinta y cinco por ciento. Para otro tipo de agregados, dicha pérdida no deberá exceder del cinco por ciento.

2. DETERMINACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE CANTERAS

En la cabecera departamental de San Marcos existen aproximadamente once canteras que proveen los agregados para concreto.

La totalidad de fábricas dedicadas a la elaboración de block, utilizan dos agregados como componentes de la mezcla: la piedra pómez como agregado grueso y la arena de peña, llamada así por los lugareños, como agregado fino.

Las canteras más importantes que proveen de estos dos materiales son: San José Las Islas, El Recreo, La Federación y Chamac, cuyas características principales se detallan a continuación.

2.1. Morfología

La morfología o forma de la superficie de las canteras estudiadas es variada, sobresaliendo las formaciones erosivas por transporte y rodadura en el lecho del río o bien en mantos acumulados a lo largo de los años. Esta se detalla a continuación.

- **Cantera Chamac.** Se encuentra en el margen del río Nahualá y se explota principalmente arena de río. Se puede observar en el sitio la influencia del estado del tiempo y el caudal del río sobre la calidad de la arena.

Como ocurre con este tipo de material, su formación se da mediante el desgaste de las rocas.

Está compuesto básicamente por partículas de sílice y rocas de distintos tamaños y en menor proporción por arcilla, materia orgánica, feldespatos y otros.

- Cantera San José las Islas. Se explota únicamente piedra pómez ubicada en mantos o depósitos residuales formados por la desintegración de rocas. En algunos casos este material se conoce como de peña o de mina.

Está compuesto de varios minerales entre los que destaca sílice en una porción considerable, a tal punto que puede afectar la calidad del concreto. Existe presencia de limo, arcilla y materia orgánica. Estas partículas presentan muy poca capacidad de resistir esfuerzos de compresión por lo que fácilmente se desintegran.

- Cantera El Recreo. El material explotado en esta cantera se conoce en la región como piedrín de peña, la cual es una roca dura, tenaz y de buena resistencia, resultado de la trituración de rocas de gran tamaño.

Existe una gran presencia de basalto y una pequeña de limo y materia orgánica que puede fácilmente lavarse.

- Cantera La Federación. Se encuentra en la misma formación geológica que la cantera El Recreo, por lo que sus características son similares.

El material explotado es de peña o de mina de buena apariencia con algunas proporciones de limo y materia orgánica fácilmente desechable.

2.2. Disponibilidad

La disponibilidad o volumen aprovechable de materiales es limitada y está sujeta básicamente a una forma de explotación deficiente que no permite obtener grandes cantidades de materiales, según se describe a continuación.

- **Cantera Chamac.** A pesar de ser una zona con buena cantidad de materiales la disponibilidad es baja debido a que los propietarios de los terrenos aledaños no permiten su explotación.

La explotación de los materiales se hace de manera artesanal y generalmente la mano de obra está compuesta por una gran mayoría de jóvenes.

- **Cantera San José Las Islas.** Está localizada en un área dedicada especialmente a la agricultura tradicional y la disponibilidad del material es relativamente limitada. Si existe demanda de un gran volumen de material o mejor calidad del mismo, se prefiere el de San Juan Ostuncalco, Quetzaltenango.
- **Cantera El Recreo.** Esta cantera se encuentra en un área dedicada especialmente a la explotación de agregados; la disponibilidad diaria de los materiales está limitada únicamente a la forma de explotación.
- **Cantera La Federación.** Al igual que en la cantera de El Recreo del cual es colindante, esta área está dedicada especialmente a la explotación de agregados y existe una buena disponibilidad de materiales, limitada únicamente a la forma de explotación.

2.3. Ubicación, acceso y distancia

La topografía de la zona bajo estudio así como las vías de acceso a los mismos permite que haya accesibilidad en toda época del año, dificultándose relativamente poco para el transporte pesado en la época lluviosa.

- **Cantera Chamac.** Ubicada en la aldea Chamac, aproximadamente 7 kilómetros al noreste de la cabecera departamental y a una altura de 2,500 metros sobre el nivel del mar.

El acceso se realiza por medio de la carretera que conduce de la cabecera departamental hacia Quetzaltenango, la cual es una importante vía comercial y representa una ventaja en la explotación de materiales.

- **Cantera San José Las Islas.** Está ubicada en la Aldea San José Las Islas a 10 kilómetros al sur oriente de la cabecera departamental y a una altura de 2 360 metros sobre el nivel del mar.

El acceso al lugar se dificulta, especialmente en el último trayecto de 5 kilómetros, ya que la región es accidentada y el camino de acceso no es asfaltado.

- **Cantera El Recreo.** Está ubicada en la Aldea El Recreo a 3 kilómetros al sur oriente de la cabecera departamental y a una altura de 2 370 metros sobre el nivel del mar.

El acceso al lugar se realiza por la carretera que conduce al municipio de Esquipulas, Palo Gordo la cual es transitable en cualquier época del año.

- Cantera La Federación. Está ubicada en la Aldea La Federación a 2 kilómetros al sur oriente de la cabecera departamental y a una altura aproximada de 2 450 metros sobre el nivel de mar.

El acceso al lugar se realiza por un camino vecinal el cual es transitable en cualquier época del año.

2.4. Forma y volumen explotable

La explotación principalmente se hace de manera manual y en algunos casos la trituración de los materiales cuando se requiere, se hace por medio de pequeñas trituradoras.

En todas las canteras se tienen volúmenes aceptables de materiales para futuras explotaciones.

- Cantera Chamac. Se realiza la explotación de los agregados finos de manera manual, recolectando la arena en las riveras del río Nahualá.

En el caso de los agregados gruesos, la explotación de los mismos se hace por trituración mecánica de las rocas localizadas en el mismo río por medio de pequeñas trituradoras de quijada.

La capacidad de producción diaria de agregados gruesos es de 15 metros cúbicos y 12 metros cúbicos de agregado fino. Se estima una reserva de 180 000 metros cúbicos de agregados.

- Cantera San José Las Islas. El principal agregado que se explota en esta cantera es la piedra pómez; el corte de los agregados se realiza de manera manual, lo que hace el proceso lento y costoso.

Según estimaciones de los propietarios de la cantera, el volumen explotable de piedra pómez por día es de 24 metros cúbicos y poseen una reserva de 70 000 metros cúbicos aproximadamente.

- Cantera El Recreo. Se explota principalmente agregado grueso y se realiza por medio de maquinaria que corta y traslada el material hacia las trituradoras las cuales tienen una capacidad de producción diaria de 9 metros cúbicos.

Según estimaciones de los propietarios de la cantera, poseen una reserva de 40 000 metros cúbicos de agregados.

- Cantera La Federación. Se explota agregado grueso y fino llamado; la forma de explotación es similar a la realizada en la cantera El Recreo, y tienen una capacidad de producción diaria de 9 metros cúbicos de agregados gruesos y 6 metros cúbicos de agregados finos.

Se estima una reserva de 25 000 metros cúbicos de agregados.

3. ENSAYOS PRIMARIOS PARA DETERMINAR LOS PERFILES DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Los ensayos primarios para determinar los perfiles de calidad de los agregados utilizados en las mezclas son: ensayos de campo y ensayos de laboratorio.

Los ensayos de campo se aconsejan como herramienta que proporcionan una primera idea sobre la conveniencia de utilizar los agregados y para determinar la necesidad de posteriores ensayos de laboratorio.

Los ensayos de laboratorio determinan las características y propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados, descritos en el capítulo uno.

Con este tipo de ensayos se puede confirmar si los agregados a utilizar son adecuados para la mezcla y proporcionan información útil para el proporcionamiento o dosificación de la misma.

Los ensayos se realizaron a las muestras obtenidas de las canteras que se detallan en el capítulo anterior y que se distinguirán por ser:

- Materiales utilizados actualmente por la mayoría de fábricas: piedra pómez y arena de peña.
- Materiales propuestos: piedra pómez, gravilla y arena de peña.

3.1. Ensayos de campo

- Arcilla y limo: la presencia de material silíceo en forma de polvo fino, en menos del 1 ½ por ciento de peso proporciona trabajabilidad y permeabilidad a la mezcla.

Más de ese porcentaje perjudica la mezcla reduciendo su consistencia y por ende su resistencia.

Para determinar el porcentaje de este tipo de impurezas en los agregados, se realiza el ensayo referido en las especificaciones ASTM C 33-44 y ASTM 40-33.

Los resultados de este ensayo en los agregados utilizados en la mezcla para la fabricación de block se proporcionan en la tabla III.

Tabla III. **Porcentaje de impurezas por peso (% IP)**

AGREGADO	CANTERA	% IP	OBSERVACIONES
Arena de peña	Chamac	1,5	Porcentaje aceptable de impurezas.
Piedra pómez	San José Las Islas	2,5	Porcentaje alto de impurezas. Se recomienda no utilizarlo
Gravilla	El Recreo	1,3	Porcentaje aceptable de impurezas
	La Federación	1,4	Porcentaje aceptable de impurezas

Fuente: investigación de campo, San Marcos, agosto 2009.

- Impurezas orgánicas: la presencia de este tipo de impurezas en los agregados es bastante frecuente. Son residuos de plantas, raíces, turba, humus, ácidos, y otros; en algunos casos reconocidos por simple inspección y eliminados si su porcentaje no es elevado.

La presencia de impurezas como el humus y los ácidos que no son detectados por simple inspección, pueden reducir la resistencia del concreto hasta en un cien por ciento. Para detectarlos se puede realizar el ensayo referido en la especificación ASTM C 40 –43 y comparar los resultados con la clasificación colorimétrica de la tabla IV.

Tabla IV. **Ensayo de materia orgánica. Clasificación colorimétrica**

ORDEN	COLORACIÓN	EMPLEO	REDUCCIÓN DE RESISTENCIA
1	Incoloro	Arena propia para concreto de alta calidad	0%
2	Amarillo pálido	Arena propia para estructuras	10 a 20 %
3	Azafrán claro	Arena que no debe utilizarse en concreto	15 a 30 %
4	Marrón rojizo claro	Arena de extraordinariamente mala calidad	25 a 50 %
5	Marrón rojizo oscuro		50 a 100 %

Fuente: Emilio Beltranena Matheu, Tesis, Agregados para concreto, p. 21.

Para los agregados sugeridos en la mezcla a ensayar, por simple inspección se determinó que contiene bajo porcentaje de material orgánico, el cual se elimina fácilmente.

3.2. Ensayos de laboratorio

La influencia de ciertas propiedades de los agregados en la calidad del concreto puede determinarse a través de ensayos de laboratorio y sirve como parámetro cualitativo del producto terminado (block).

Por ejemplo:

- Con el aumento de la densidad de los agregados se obtiene un aumento en la resistencia del concreto.
- Agregados con mayor peso específico y menor porcentaje de vacíos, requieren menor cantidad de cemento para llenar dichos vacíos, por lo tanto también aumentará la resistencia del concreto.
- Agregados muy porosos absorben el agua del cemento durante el endurecimiento, resultando un inadecuado fraguado.
- El grado de humedad varía el porcentaje de vacíos y el peso específico de los agregados.
- El asentamiento en el concreto cambia de acuerdo a la cantidad de agua que absorbe o proporciona el agregado.

Esta serie de ensayos se detallan a continuación:

- Peso específico: es el peso de la unidad de volumen del agregado. Se determina de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C 127 para agregados gruesos y la Norma ASTM C 128 - 42 para agregados finos.
- Peso unitario: es el peso del agregado respecto a su volumen unitario (pie cúbico o metro cúbico). Se determina de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C 28-42.

- Porcentaje de absorción: llamado también factor de saturación, se determina de acuerdo a la especificación ASTM C 127-42 para los agregados gruesos y la especificación ASTM C 128-42 para agregados finos.

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} \qquad \text{Humedad total} = \frac{S - A}{A}$$

Donde: A = peso en gramos (al aire) de la muestra secada al horno

B = peso en gramos en el aire de muestra en condición saturada de superficie seca

S = peso en gramos (en el aire) de la muestra en su estado de humedad actual

- Porcentaje de vacíos: medida que proporciona la cantidad de vacíos contenidos dentro de las partículas del agregado.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{\text{Peso específico} \times 1000 - \text{Peso unitario (kg/m}^3\text{)}}{\text{peso específico} \times 1000}$$

- Porcentaje que pasa tamiz 200: proporciona la cantidad de arcilla presente en los agregados; se determina de acuerdo a la especificación ASTM C 117-37.
- Determinación de materia orgánica: se realiza de manera similar al descrito en el inciso 3.1.2.

Por conveniencia este ensayo se puede realizar en campo o en laboratorio.

- Resistencia al desgaste: se puede determinar el porcentaje de peso perdido de los agregados y compararlos con la pérdida de resistencia en el concreto.

Este ensayo es aplicado especialmente en los agregados gruesos utilizados en concretos sometidos a abrasión; se determina de acuerdo a la especificación ASTM C 131 – 51.

- Granulometría: indica las cantidades de material de distinto tamaño de que está compuesto el agregado.

La densidad, impermeabilidad, resistencia a la compresión, el desgaste del concreto y otros dependen de la granulometría del agregado utilizado. Se determina de acuerdo a la especificación ASTM C 136-46.

Los resultados obtenidos se describen en las siguientes páginas.

Tabla V. **Ensayos de laboratorio. Agregados de la cabecera departamental de San Marcos**

AGREGADO	CANTERA	PESO		% DE ABSORCIÓN	% DE VACÍOS	% PASA TAMIZ 200
		ESPECIFICO (kg / m ³)	UNITARIO (kg / m ³)			
Arena (finos)	Chamac	2,45	1 520,00	1,75	37,96	1,92
Piedra Pómez	Las Islas	1,59	579,00	5,28	65,71	1,92
Gravilla (grosso)	El Recreo	2,30	1 355,00	4,06	41,08	-
	Federación	2,26	1 432,00	4,61	36,66	-

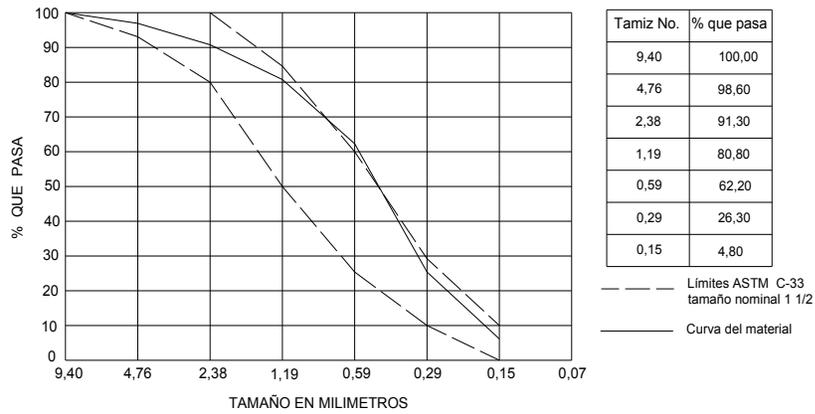
Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Carlos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.37 a 43 y 50,51.

Tabla VI. **Ensayos de laboratorio. Agregados de la cabecera departamental de San Marcos**

AGREGADO	CANTERA	CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA	% DESGASTE MÁQUINA DE LOS ANGELES	MÓDULO DE FINURA	GRANULOMETRÍA VER
Arena (finos)	Chamac	4,00	-	2,36	figura 1
Piedra Pómez	Las Islas	1,00	-	3,44	figura 2
Gravilla (grosso)	El Recreo	-	19,26	-	figura 3
	Federación	-	29,17	-	figura 4

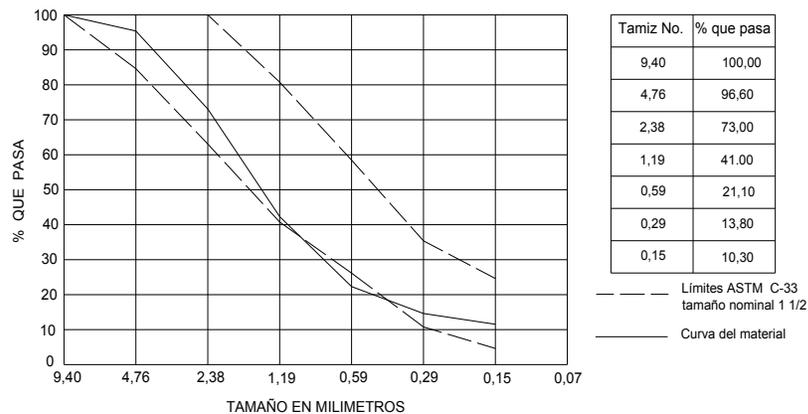
Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Carlos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.37 a 43 y 50,51.

Figura 1. **Curva granulométrica. Agregado fino, cantera Chamac**



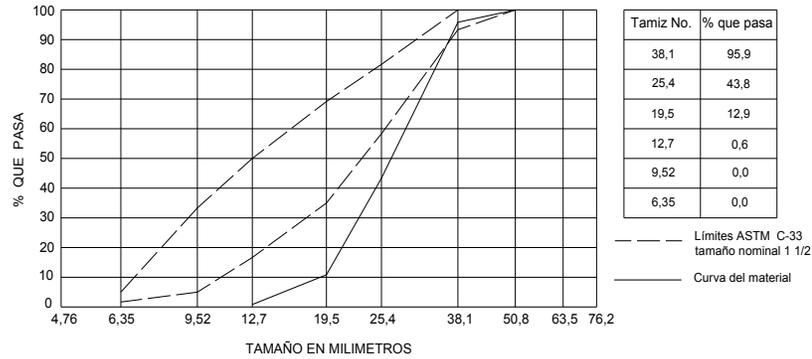
Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Carlos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.43.

Figura 2. **Curva granulométrica. Agregado liviano, cantera San José Las Islas**



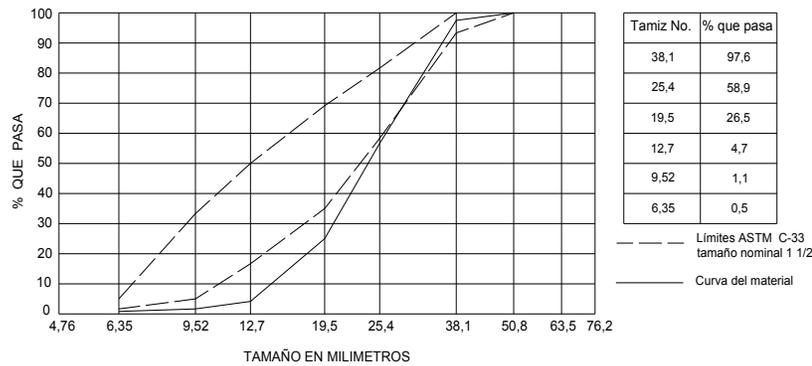
Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Calos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.51.

Figura 3. **Curva granulométrica. Agregado grueso, cantera El Recreo**



Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Carlos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.38.

Figura 4. **Curva granulométrica. Agregado grueso, cantera La Federación**



Fuente: MUÑOZ ESPINOZA, Juan Calos, Evaluación de las propiedades físico mecánicas de los agregados para concreto en el departamento de San Marcos, p.40.

4. DISEÑO Y REALIZACIÓN DE MEZCLAS

Es práctica común en las fábricas de block, la dosificación de la mezcla con base a la cantidad de agregados por un saco de cemento, salvo en el caso de las fábricas automatizadas en las cuales se dosifica por peso de los agregados, lo cual no ocurre en el área bajo estudio.

Generalmente el fabricante trata de obtener un rendimiento de piezas terminadas (block) de 30 a 40 por saco de cemento, cantidad que varía de acuerdo a la apariencia, peso y resistencia que supone tiene el producto.

4.1. Dosificación de mezclas

Se tomará como base la dosificación de la mezcla que realiza la mayoría de las fábricas (mezcla 1) y la mezcla propuesta usada en la fábrica más tecnificada del área bajo estudio (mezcla 2).

4.1.1. Cálculo de cantidades de agregado

Las cantidades de los agregados utilizados son medidos por volumen, ya sea con carreta o cubeta (de cinco galones).

El cemento utilizado en la mayoría de las fábricas, es nacional tipo Portland Modificado de 5 000 libras por pulgada cuadrada de resistencia a compresión. En promedio se usan las cantidades descritas en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Dosificación de mezclas. Cantidad de agregados**

AGREGADO	MEZCLA 1			MEZCLA 2		
	CANTIDAD CARRETAS	CANTIDAD BOTES	VOLUMEN PROMEDIO	CANTIDAD CARRETAS	CANTIDAD BOTES	VOLUMEN PROMEDIO
CEMENTO			0,027 m ³			0,027 m ³
PIEDRA PÓMEZ	4	12	0,26 m ³	2,3	7	0,15 m ³
GRAVILLA	0	0	0	1	3	0,06 m ³
ARENA PEÑA	2,5	8	0,17 m ³	4	12	0,26 m ³
AGUA	0	3,6	75 litros	0	4	85 litros

Fuente: investigación de campo, San Marcos, septiembre 2009.

El proporcionamiento final de la mezcla, será entonces por medio de la relación volumétrica de los componentes respecto al volumen del cemento.

4.1.2. Relación agua – cemento

La resistencia a la compresión de un concreto trabajable depende fundamentalmente de la relación agua – cemento de la mezcla, una relación tan baja como se pueda es la recomendable.

Con una misma cantidad de agregados en la mezcla, se puede obtener un concreto con un amplio rango de resistencias según la cantidad de agua presente en la masada, por tanto, un control adecuado sobre la cantidad de agua, es lo recomendable para obtener mezclas cualitativamente aceptables.

Además de la cantidad de agua presente en la mezcla, se deberá tener especial cuidado en utilizar agua limpia y libre de cantidades objetables de materia orgánica, fango, sales, sulfatos, ácido tánico y otros, los cuales pueden causar reducción en la resistencia y retardo en el fraguado.

Las fábricas en el área bajo estudio, utilizan agua potable municipal en la elaboración de la mezcla y el curado de las piezas terminadas, por lo que la calidad de la misma es aceptable. Sin embargo, la cantidad de agua utilizada varía en cada masada ya que la mayoría de las fábricas no la cuantifica, dando como resultado variaciones en la resistencia del concreto.

4.2. Análisis de resultados

Utilizando el equipo de la fábrica más tecnificada del área, se procedió a realizar tres masadas con la dosificación descrita en la tabla número VII, tanto para la mezcla 1 como para la 2.

Los parámetros estudiados de las mezclas, se describen en los siguientes incisos, y los resultados obtenidos se muestran en la tabla número VIII.

4.2.1. Asentamiento

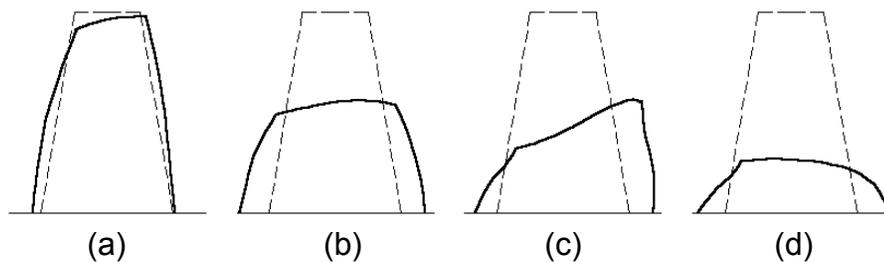
El asentamiento, conocido también como revenimiento es uno de varios parámetros usados para determinar la trabajabilidad del concreto en estado plástico.

La prueba de revenimiento es la primera prueba que se realiza al concreto recién mezclado y es utilizada para medir su consistencia. La prueba se realiza con rapidez y proporciona algunos indicios sobre la calidad del concreto.

Para determinar el revenimiento del concreto, se realiza el *Método estándar de prueba para el revenimiento del concreto de cemento Portland*, bajo la Norma ASTM C 143.

Existen cuatro formas en que ocurre el revenimiento del concreto, como se describe en la siguiente gráfica.

Figura 5. **Formas de revenimiento**



Fuente: WADDELL, Joseph y DOBROWOLSKI, Manual de la construcción con concreto, p. 5.5

- a. Revenimiento cercano a cero: puede darse en un concreto de buena trabajabilidad, pero con un bajo contenido de agua o bien ser resultado de una mezcla áspera con facilidad de liberar el agua contenida en dicha mezcla.
- b. Cono normal de revenimiento: es el indicado para obtener una trabajabilidad en el concreto de buena a excelente. Los valores de revenimiento varían entre 2 y 7 pulgadas.
- c. Revenimiento de corte: indica falta de plasticidad y cohesividad en el concreto, por lo que no se recomienda usar.
- d. Revenimiento de aplastamiento: indica exceso de humedad o la existencia de mezclas pobres o ásperas; generalmente los agregados gruesos quedan en el centro. Los valores de revenimiento varían entre 7 y 10 pulgadas.

4.2.2. Peso unitario

Es necesario determinar el peso unitario del concreto para poder establecer el rendimiento y el factor de cemento que se usa. El ensayo se realiza bajo la Norma ASTM C 138 y se obtiene de:

$$P = \frac{B - A}{C}$$

Donde: A = peso del recipiente (kg)

B = peso del recipiente + concreto (kg)

C = volumen del recipiente (m³)

P = peso unitario (kg/m³)

Sin embargo, lo más importante de determinar el peso unitario radica en que proporciona la densidad del concreto, la cual junto con la resistencia a la compresión, sirven para clasificar el tipo, clase y grado del block, como se describe en el capítulo 6.

4.2.3. Rendimiento

El rendimiento en metros cúbicos por masada, proporciona información sobre el volumen real del concreto por masada y se obtiene de:

$$R = \frac{\text{Peso de agregados, cemento, agua y aditivos}}{\text{Peso unitario del concreto (kg/m}^3\text{)}}$$

Por último, se puede calcular el factor de cemento que nos indica la cantidad de sacos utilizados por metro cúbico de concreto.

El factor del cemento es importante conocerlo especialmente en aquellas fábricas donde la dosificación de la mezcla se hace por peso. Se obtiene así:

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

F = kg de cemento utilizados en masada
R = rendimiento (m³/masada)
F = factor de cemento (sacos/m³)

Donde $D = \frac{E}{42,5 \text{ kg/saco}}$

Es razonable aceptar una tolerancia de más menos uno por ciento ($\pm 1\%$) en el rendimiento, variaciones más altas repercuten en la resistencia y el costo del concreto.

4.2.4. Resistencia a temprana edad

Sin lugar a dudas, la determinación de la resistencia a la compresión a temprana edad del concreto es sumamente importante en un proceso como la fabricación diaria de block.

Obtener estos valores de resistencia a la compresión en concretos con una edad de tres y siete días, permitirá la corrección en la dosificación ante eventuales inconvenientes, y ayudará a predecir la resistencia promedio del concreto a los 28 días.

4.2.5. Resistencia a 28 días

La resistencia a la compresión promedio de un concreto se considera que se alcanza a los 28 días de elaborado.

En el proceso diario de fabricación de block, conocer esta resistencia pareciera no tener importancia si se pretende realizar los ensayos en concretos con esa edad. Sin embargo, al llevar un adecuado registro del origen y contenido de humedad de los agregados, la dosificación de la mezcla y el tiempo de mezclado, este dato permitirá corroborar si la resistencia deseada se alcanza.

A lo anterior, se debe agregar que el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días, permite establecer los parámetros de corrección en la resistencia obtenida en los ensayos a temprana edad en concretos con características similares.

Los resultados de resistencia a compresión en block fabricados de diferentes mezclas, se dan a continuación.

Tabla VIII. **Diseño y realización de mezclas.
Análisis de resultados. Mezcla 1**

MEZCLA #	ASENTAMIENTO			PESO UNITARIO	RENDIMIENTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN BLOCK		
	cm	plg	observaciones	kg / m ³	sacos / m ³	3 días	28 días	28 días
1	11,7	4,6	Mal mezclado	1 789	3,41	-	14,4	20,6
2	11,2	4,4	Mal mezclado	1 814	3,68	-	15,2	22,8
3	12,0	4,7	Mal mezclado	1 794	3,50	-	14,6	21,7

Fuente: investigación de campo, San Marcos, septiembre 2009. Ensayos de laboratorio, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, septiembre 2009.

Tabla IX. **Diseño y realización de mezclas.**
Análisis de resultados. Mezcla 2

MEZCLA #	ASENTAMIENTO			PESO UNITARIO	RENDIMIENTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN BLOCK		
	cm	plg	observaciones	kg / m ³	sacos / m ³	3 días	28 días	28 días
1	10,7	4,2	Mezcla uniforme	1 872	4,11	-	16,7	24,6
2	10,1	4,0	Mezcla uniforme	1 869	4,37	-	17,2	25,6
3	11,4	4,5	Mezcla uniforme	1 879	4,24	-	16,8	24,4

Fuente: investigación de campo, San Marcos, septiembre 2009. Ensayos de laboratorio, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, septiembre 2009.

No fue posible realizar las pruebas a los tres días debido a que transportar los bloques al laboratorio lleva en promedio dos días después de fabricados y se corre el riesgo de dañarlos.

La predicción de la resistencia a los 28 días se resume en la tabla que se presenta a continuación.

Tabla X. **Predicción de resistencia a compresión en forma empírica**

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg / cm ²)										
MASADA #	MEZCLA 1					MEZCLA 2				
	a	Predicción	a	Predicción	REAL	a	Predicción	a	Predicción	REAL
	3 días	28 días	7 días	28 días	28 días	3 días	28 días	7 días	28 días	28 días
1	-	-	14,4	22,0	20,6	-	-	16,7	25,0	24,6
2	-	-	15,2	23,0	22,8	-	-	17,2	26,0	25,6
3	-	-	14,6	22,0	21,7	-	-	16,8	25,0	24,4

Fuente: ensayos de laboratorio, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC, septiembre 2009.

5. CURADO DE LAS PIEZAS TERMINADAS DE MAMPOSTERÍA

Conforme transcurre la reacción química de hidratación entre el cemento y el agua de la mezcla, el concreto gana resistencia. La pérdida de agua en el concreto hace que la hidratación se detenga, resultando perjudicada la resistencia y durabilidad del concreto.

Durante el secado del concreto ocurre la contracción del mismo, lo que propicia el apareamiento de grietas, especialmente si el concreto tiene poca resistencia.

En el caso de las piezas de mampostería, primero ocurre el secado de la superficie, dando lugar a que el cemento allí presente, aparezca como polvo sin contribuir a la adherencia de los agregados.

El curado es el procedimiento usado para garantizar que existe suficiente agua presente en el concreto para dar lugar a una hidratación continua del cemento.

5.1 Temperatura y humedad de la zona

La cabecera departamental de San Marcos está ubicada a una altura de 2,398 metros sobre el nivel del mar, lo que la sitúa como la cabecera más alta de la república.

San Marcos es el primer territorio departamental ubicado en la cordillera volcánica; transversalmente está limitado por la placa del Caribe en el valle del Río Cuilco hasta la orilla misma del mar pacífico.

La peculiar configuración del altiplano con alturas hasta de 2600 metros sobre el nivel del mar y planicies costeras, cuya convergencia afecta la cabecera departamental, propicia condiciones atmosféricas extremas.

La temperatura de la zona puede variar desde varios grados centígrados bajo cero en la madrugada, hasta arriba de 23 grados centígrados al medio día.

La humedad de la zona es relativamente baja, llegando a ocurrir simultáneamente fuerte viento y alta energía radiante del sol.

5.2 Métodos de curado

Todas las fábricas de block de la zona bajo estudio, y probablemente en el país, no utilizan algún método de curado para favorecer la hidratación del concreto.

El desconocimiento por parte del fabricante, la falta de recursos para aplicar algún método, la poca o nula asesoría de parte de instituciones o empresas interesadas y otras, son causas por las que no se realiza un adecuado curado del block; limitándose en el mejor de los casos, a colocarlo bajo galeras abiertas para protegerlo del sol y la lluvia.

Algunos métodos de curado se describen en los siguientes párrafos y pueden servir de guía en el momento de optar por utilizar este sistema.

- Curado con agua. Es el método más indicado a utilizar en las fábricas de block, especialmente en las primeras horas de edad del producto y consiste en mantener permanentemente húmedas las piezas.

A diferencia de otro tipo de concreto que puede inundarse, como el caso de las losas de concreto, el block se humedece con rocío o niebla fina a través de aspersores colocados en varias direcciones, de manera que su efecto favorezca a todas las piezas.

- Capas impermeables. Estas pueden ser de manta, plástico, papel impermeable u otro material que permita cubrir totalmente las piezas e impida la pérdida rápida de humedad aprovechando el efecto invernadero en su interior.

En nuestro medio es factible el uso de polietileno, especialmente en fábricas de block con bajo volumen de producción, lo que permite cubrir toda la producción.

- Formadores de membrana. Son compuestos líquidos a base de resina, cera, solventes, pigmentos y otros. Se aplican por rocío sobre las piezas frescas y forman una membrana impermeable que evita la pérdida de humedad.

Este producto debe aplicarse con una consistencia adecuada y en condiciones de humedad y temperatura favorables que aseguren la adherencia en las piezas. El uso de este producto en el block pareciera adecuado, sin embargo, las condiciones ambientales y el difícil proceso de colocación que permitan cubrir por completo las piezas, no lo permiten.

- A alta temperatura. Es un método que acelera el proceso de curado, lo que permite rotar en menos tiempo el inventario de producto terminado. El curado con vapor a alta temperatura se puede realizar a presión atmosférica normal en hornos y a alta presión en autoclave.

En nuestro país, los hornos o cuartos de curado existen únicamente en las fábricas automatizadas ubicadas en la capital, sin embargo el proceso de curado no utiliza vapor y únicamente se pretende disminuir la pérdida de humedad, aprovechar el efecto invernadero y proteger de la intemperie y las condiciones climáticas desfavorables al producto terminado.

Los hornos o cuartos de curado, son galerías herméticas hechas de materiales aislantes que impiden la pérdida de calor, y de dimensiones tales que permiten a todas las piezas ser sometidas al mismo ciclo de curado. Están provistos de tuberías de inyección de aire saturado caliente o vapor y drenajes especiales que permiten completar los ciclos de circulación.

5.3 Uso de aditivos para incrementar resistencia a temprana edad

Uno de los grandes retos que deben afrontar los fabricantes, es la necesidad de mover hacia el patio de aperchado el block hecho con menos de 24 horas de anterioridad.

Para evitar que los block se dañen ante el temprano movimiento y aperchado es recomendable utilizar algún aditivo que mejore la resistencia de las piezas ante esas exigencias.

5.3.1. Definición, empleo y clasificación

Los aditivos son sustancias que se agregan a la mezcla para modificar características físico mecánicas del concreto en estado fresco y/o endurecido, como: mejorar la trabajabilidad, aumentar la resistencia, acelerar o retardar el desarrollo de la resistencia, aumentar la resistencia a la congelación y otros.

En general, los aditivos influyen sobre más de una propiedad del concreto, por lo que su uso debe someterse a las recomendaciones que haga el proveedor de estos productos y a los cambios observados o evaluados en las piezas terminadas.

Los aditivos, líquidos o en polvo, se utilizan en pequeñas cantidades y nunca se adicionan solamente al cemento, sino al agua o la mezcla misma. Los tipos y usos de los aditivos son:

- Agentes inclusores de aire. Estos aditivos agregan pequeñas burbujas de aire a la mezcla, aumentando de manera considerable la resistencia del concreto a la congelación y deshielo evitando su desintegración.

En mezclas pobres, los aditivos inclusores de aire expanden el volumen de cemento, lo que incrementa la resistencia del concreto; además, bloquean los poros o capilares por donde fluye el agua que se pierde durante el curado.

En mezclas mal graduadas o deficientes en finos, la adición de aire mejora la trabajabilidad del concreto y permite disminuir el volumen de agua para la masada.

- **Acelerantes.** Hacen que el concreto endurezca rápidamente por lo que es útil en climas fríos, sin embargo en otras condiciones climáticas su uso no es aconsejable.

El cloruro de calcio es el acelerante usado más comúnmente, sin embargo existen de tipo bromuro, fluoruro, carbonato, nitrato, silicato y otros.

El cloruro de calcio acelera la hidratación del cemento. Usado hasta en un dos por ciento en peso del cemento, aumenta la resistencia a la compresión y la flexión del concreto a temprana edad.

El cloruro de calcio puede resultar perjudicial ya que el calor de hidratación aumenta la temperatura, lo que propiciará grandes esfuerzos debido a la contracción térmica. A lo anterior hay que agregar que el cloruro propicia la corrosión en el acero en contacto con el concreto.

- **Reductores de agua y controladores de fraguado.** Son compuestos orgánicos que reducen la cantidad de agua en la mezcla y retardan el fraguado del concreto. En combinación con otros compuestos, se puede reducir la cantidad de agua sin afectar el tiempo de fraguado.

De acuerdo a sus componentes, existen dos tipos de aditivos reductores de agua y controladores de fraguado.

- **Reductores de agua de rango normal, cuyos componentes son:**
 - Sales y ácidos carboxílicos hidroxilados (llamados HC)
 - Sales y ácidos lignosulfónicos (llamados ligninas)
 - Carbohidratos, polisacáridos y ácido de azúcar (llamados polímeros o PS).

Estos aditivos dosificados adecuadamente, reducen el contenido de agua en la mezcla entre un 5 y 8 por ciento para los tipos HC y PS, y entre un 7 y 10 por ciento para los de tipo lignina.

- Reductores de agua de alto rango (superplastificantes HRW), cuyos componentes son:

Sales de formaldehído del ácido nafatalensulfónico

Sales de formaldehído de melanina de ácido sulfónico

Sales y derivados de ácido sulfónico de ligninas

Estos aditivos son poderosos agentes dispersores, usados en dosificaciones del orden de 0,05 a 0,1 por ciento en peso de cemento, reducen la cantidad de agua usada en la mezcla, hasta el mismo punto de los aditivos de rango normal.

Con dosificaciones más altas, se puede llegar a obtener una reducción en la cantidad de agua en la mezcla del 20 al 30 por ciento, lo que conlleva una reducción en la relación agua-cemento y una obtención de alta resistencia en el concreto a temprana edad (tanto como 3 000 libras por pulgada cuadrada en 8 horas).

- Aditivos minerales. Se usan para aumentar el volumen de la pasta o para mejorar la mala graduación de los agregados, lo que mejora la trabajabilidad de la mezcla y aumenta la resistencia del concreto.

Con mezclas ricas en cemento Portland, la adición de minerales afecta la trabajabilidad y hace necesario adicionar agua lo que reduce la resistencia del concreto.

Existen tres tipos de aditivos minerales: de material inerte (cuarzo y piedra caliza molidos, polvos triturados, cal y talco hidratados), tipo cementosos (cementos naturales, cales hidráulicas, escoria de alto horno de hierro granulada) y tipo puzolánicos.

- **Puzolanas.** Es un material silíceo de buenas propiedades cementantes al estar en contacto con humedad e hidróxido de calcio, lo que permite reducir la cantidad de cemento en la mezcla para determinada resistencia.

La sílice de alta finura requiere adicionar agua a la mezcla para mejorar la trabajabilidad, por lo que se hace necesario agregar un aditivo reductor de agua de alto rango, con lo que se puede llegar a obtener altas resistencias del concreto.

El uso de puzolanas requiere un estudio de laboratorio para determinar la reacción con los álcalis del cemento, lo que evitará la expansión excesiva, el deterioro y agrietamiento del concreto.

- **Agentes impermeabilizantes.** Son jabones a base de estearatos, oleatos o derivados del petróleo. Al contrario de lo que se cree, su capacidad de reducir la transmisión de humedad es nula, por lo que no se puede considerar como aditivo impermeabilizante.

Estos jabones son buenos aditivos inclusores de aire, especialmente durante el mezclado, siendo esta la característica más importante a considerar al momento de usarlo.

- **Otros aditivos.** Existe otra variedad de aditivos de uso poco común o de uso especializado como el aditivo formador de gas, usado para expulsar el aire de la mezcla para concreto normal y para *grout*.

Este tipo de aditivos es usado en concreto sometido a continuas pruebas de resistencia para evitar perjudicar propiedades físico mecánicas que no se desea modificar.

Tabla XI. **Clasificación de los aditivos por su uso**

PROPIEDAD A MODIFICAR	EFFECTOS EN EL CONCRETO	CLASE DE AGENTE	PRODUCTO COMERCIAL
Resistencia	Aumenta la resistencia inicial	Plastificante, dispersante	Trietanolamina
	Acelera el fraguado	Aditivo acelerante	Cloruro calcio, sikacrete
	Retarda resistencia inicial	Aditivo retardante	Sulfato de calcio (yeso)
	Retarda el fraguado	Plastificante, dispersante	Sales de ácido lignosulfónico
	Aumento de resistencia lineal	Retardante densificador	Plastiment, sulfato cobre
Durabilidad	Resistencia a la intemperie	Plastificante atrapador de aire	Resina, darex, sika aer
	Resistencia a suelos sulfatados	Plastificante	Atrapador aire, puzolana
	Resistencia a agua de mar	Plastificante	Atrapador aire, puzolana
	Reacción álcali de los agregados	Plastificante	Atrapador aire, puzolana
Trabajabilidad, plasticidad, volumen	Mejora con reducción de agua	Plastificante	Dispersante, atrapador aire
	Mejora sin reducción de agua	Plastificante puro	Cal, diatomeas, arcilla
	Aumento de volumen y/o	Expansivo	Limadura hierro, Sika kemox
	Gasificación del concreto	Gasificador	Polvo aluminio, hipoclorito calcio
Curado	Retención de humedad	Catalizador	Cloruro de calcio
	Retención de humedad	Recubrimiento superficial	Parafinado, resinas plásticas
Permeabilidad	Reducción de capilaridad, absorción	Repelente de agua	Estratos metálicos, jabones
	Evitar filtración de líquidos a presión	Expansivo, recubrimiento	Agentes expansivos
	Reducir exudación y formación lechada	Sales, suspensiones,	Silicato sodio, limadura hierro,
		membranas, plastificantes	caseina, dispersante

Fuente: MORALES GARCIA, Jorge Mario. Materiales de construcción, p. 109-101.

5.3.2. Ensayo a la compresión de concreto con aditivos

La contracción térmica, el inadecuado curado, la mala graduación y calidad de los agregados, son algunos factores que propician en el block la aparición de grietas, mala cohesión de los agregados en la superficie, poca resistencia a temprana edad, baja resistencia final, y otros aspectos poco recomendables.

Los distribuidores de aditivos para concreto más conocidos en el país, *Sika* y *BCP* al evaluar las condiciones anteriores para mejorar las propiedades cualitativas del block y el rendimiento de la mezcla, recomiendan usar plastificantes y dispersantes de cemento a base de etanolaminas.

Los aditivos disponibles son: *Sikamix PL-90* y *Moldac*, de los cuales el segundo posee mejores características y bajo precio (140 por ciento más barato que su similar), lo que incide en su utilización en las mezclas para los ensayos de resistencia del concreto.

A una dosificación similar a la mezcla 2 indicada en el capítulo 4 sección 4.1, se adicionó 120 mililitros de *Moldac* (aproximadamente 4 onzas fluidas), para elaborar el concreto de los cilindros a utilizar en los ensayos de resistencia; resultados que se presentan en la tabla XII.

Tabla XII. **Ensayo a la compresión. Concreto con aditivo Moldac**

MASADA	ASENTAMIENTO			RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
	#	cm	pulg	observaciones	3 días	7 días
1	9,8	3,8	Buena consistencia	-	17,0	25,8
2	9,4	3,7	Buena consistencia	-	16,9	25,4
3	9,5	3,7	Buena consistencia	-	17,3	26,0

Fuente: investigación de campo, San Marcos, 2009. Ensayos de laboratorio, CETEC, septiembre 2009.

5.3.2.1. Comparación de resultados

Para poder determinar si la utilización de aditivos es una opción para mejorar la resistencia del concreto utilizado en la fabricación de block, se hace necesaria la comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio, como se muestra en la tabla XIII.

Tabla XIII. Comparación de resistencia

MASADA #	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)					
	CONCRETO NORMAL			CONCRETO CON ADITIVO MOLDAC		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
1	-	16,7	24,6	-	17,0	25,8
2	-	17,2	25,6	-	16,9	25,4
3	-	16,8	24,4	-	17,3	26,0

Fuente: ensayos de laboratorio, CETEC, septiembre 2009.

5.3.3. Incidencia en el costo de las piezas de mampostería

Como se puede observar en la tabla XII, el uso de aditivos en la mezcla mejora la resistencia del concreto. Por lo anterior, es necesario hacer la comparación de costos de las mezclas estudiadas para determinar la factibilidad de utilizar aditivo.

Con el valor actual (septiembre 2012) de los agregados en la zona bajo estudio, se calcula el costo de las mezclas, sin tomar en cuenta el monto por concepto de mano de obra, agua, electricidad, administración y otros, ya que estos permanecen sin variación en ambos casos.

Tabla XIV. Costo de las mezclas

TIPO DE AGREGADO	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNIDAD (Q)	MEZCLA SIN ADITIVO			MEZCLA CON ADITIVO		
			CANTIDAD	COSTO	PORCENTAJE	CANTIDAD	COSTO	PORCENTAJE
			UTILIZADA	(Q)	DE INCIDENCIA	UTILIZADA	(Q)	INCIDENCIA
Cemento 5000 psi	saco	73,69	1,00	73,69	80,11	1,00	73,69	79,14
Piedra pómez	m ³	78,00	0,17	13,26	14,41	0,17	13,26	14,24
"gravilla"	m ³	64,00	0,04	2,56	2,78	0,04	2,56	2,75
"Arena de peña"	m ³	62,00	0,04	2,48	2,70	0,04	2,48	2,66
Aditivo Moldac	onza	0,28	0,00	0,00	0,00	4,00	1,12	1,20
TOTAL				91,99	100,00		93,11	100,00

Fuente: investigación de campo, San Marcos, septiembre 2009.

El porcentaje de incidencia en el costo final del producto, se incrementa en apenas 1,6 por ciento con el uso de aditivos, por lo que la comparación necesariamente se debe realizar para cada fábrica en particular, desde el punto de vista de la merma o cantidad de piezas defectuosas resultantes del aperchado a temprana edad y de la ganancia en el tiempo de rotación de los inventarios en comparación con las piezas que no tienen aditivo.

6. ANÁLISIS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

Las unidades de mampostería están sujetas a normas y ensayos de laboratorio para verificar sus características cualitativas, en especial su capacidad de resistir esfuerzos de compresión y su densidad, lo que permitirá clasificarlos para un adecuado uso.

6.1. Normas aplicables

Existen normas aplicables de carácter nacional e internacional que rigen la toma de muestras, los ensayos de laboratorio y la clasificación de las unidades de mampostería, cuyo compendio se presenta a continuación.

6.1.1. Normas ASTM

Al igual que sucede con los agregados para el concreto, la ASTM, *American Society for Testing and Materials* (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales), tiene especificaciones relativas a las unidades de mampostería. Designa el block en cuatro clases: hueco de carga, sólido de carga, hueco no de carga y ladrillo; los cuales pueden ser fabricados a partir de concreto de peso normal o de concreto ligero (hasta 1 600 kilogramos por metro cúbico).

Las normas aplicables a cada tipo de block son: ASTM C 55 para *Ladrillo de concreto para construcción*, ASTM C 90 para *Unidades huecas de carga, de concreto, para mampostería*, la ASTM C 129 para *Unidades huecas no de carga, de concreto, para mampostería* y la ASTM C 145 para *Unidades sólidas de carga, de concreto, para mampostería*.

La norma ASTM C 140 *Método de muestreo y ensayo para pruebas estándar en unidades de mampostería*, se refiere al número mínimo de muestras o unidades de mampostería que se deben tomar por lote producido, para someterlas a ensayos de laboratorio, resumido en la siguiente tabla.

Tabla XV. **Número de muestras para ensayos de laboratorio**

Número de unidades en el lote	NÚMERO DE MUESTRAS (block)	
	Sólo prueba de resistencia	Prueba de resistencia, absorción y contenido de humedad
≤ 10 000	3	6
10 000 - 100 000	6	12
> 100 000	3 por cada 50 000	6 por cada 50 000

Fuente: norma ASTM C140.

6.1.2. Normas COGUANOR

Las normas COGUANOR referente a *Bloques huecos de hormigón para paredes o muros y tabiques*, se resumen como sigue:

- Norma NGO 41054 *Especificaciones*. Establece los requisitos que debe cumplir el block hueco de hormigón, destinado o no a soportar carga.

De acuerdo a su masa, el block se clasifica en tres tipos, como sigue:

Tabla XVI. **Tipos de block**

TIPO	MASA (kg/m ³)
Pesado	≥ 2 000
Medio	1 680 ≤ m < 2 000
Liviano	< 1 680

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 054, 1984.

Por su capacidad de soportar carga, el block se clasifica como sigue:

Tabla XVII. **Clases de block**

BLOCK CLASE	CAPACIDAD DEL BLOCK
A	Soporta carga
B	No soporta carga

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 084, 1984.

Por su uso o empleo, el bloque se clasifica como sigue:

Tabla XVIII. **Grados del block**

BLOCK GRADO	EMPLEO EN
1	Uso general como: pared exterior, por debajo o sobre nivel del suelo, expuesta o no a la penetración de humedad y otros
	Uso limitado como: pared exterior protegida de la inclemencia del tiempo, pared construida sobre el nivel del suelo y otros
2	Uso limitado como: pared exterior protegida de la inclemencia del tiempo, pared construida sobre el nivel del suelo y otros
	Uso limitado como: pared exterior protegida de la inclemencia del tiempo, pared construida sobre el nivel del suelo y otros

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 054, 1984.

La resistencia mínima a la compresión para cualquiera de los tres tipos de block, se detallan a continuación.

Tabla XIX. **Resistencia a la compresión**

CLASE Y GRADO DEL BLOCK	PROMEDIO 5 BLOCK			DE UN SOLO BLOCK		
	Mpa	kg / cm ²	psi	Mpa	kg / cm ²	psi
CLASE A: soporta carga						
Grado 1: usos generales	6,9	70	1 000	5,5	56	800
Grado 2: usos limitados	4,8	49	700	4,1	42	600
CLASE B: no soporta carga						
Grado 2: usos limitados	2,5	25	360	2,1	21	300

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 084, 1984.

- Norma NGO 41055 *Toma de muestras*. Esta norma establece el método para la toma de muestras de block de un lote, para ser sometidos a ensayos de laboratorio o para inspección de campo y determinación de su calidad.

El número de muestras por lote y por ensayo exigidos por esta norma, se detalla a continuación.

Tabla XX. **Número de muestras por tamaño de lote**

TAMAÑO DE LOTE (Block)	TAMAÑO DE MUESTRA (Block)
10 000 o menos	10
10 001 a 100 000	20
mayor 100 000	10 por cada 50 000

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 055, 1984.

Tabla XXI. **Número de muestras por ensayo**

TIPO DE ENSAYO (Determinación de)	NÚMERO MUESTRA (Block)
Dimensiones	10
Absorción máxima de agua	5
Humedad	5
Resistencia a la compresión	5

Fuente: COGUANOR, norma NGO 41 055, 1984.

- Norma NGO 41056 h1, *Determinación de las dimensiones, humedad y absorción del agua*. Establece el método para determinar estas cualidades en el block.
- Norma NGO 41056 h2, *Determinación de la resistencia a la compresión*. Establece el método para determinar la resistencia a la compresión del bloque y su posterior clasificación.

6.2. Ensayos para determinación de características y propiedades físico - mecánicas

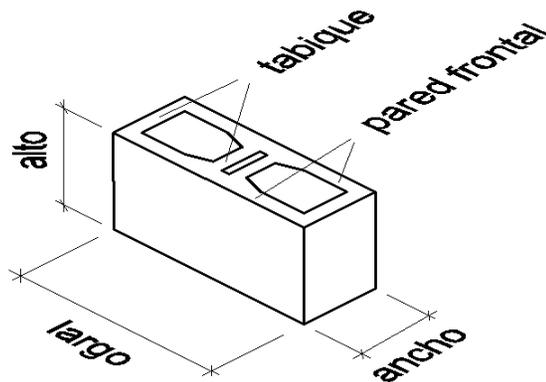
La determinación de las características y propiedades del block, se realizan tomando como base los métodos y parámetros indicados en las especificaciones ASTM y COGUANOR, indicados en el inciso 6.1.

Los ensayos practicados a las muestras de block del área bajo estudio, son realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala y son detallados en los siguientes incisos.

6.2.1. Determinación de las dimensiones y peso

Las medidas principales a determinar en el block son: ancho, alto, largo, espesor de las paredes frontales, espesor de los tabiques, así como el peso seco de la unidad.

Figura 6. Dimensiones del block



Fuente: COGUANOR, norma NGO 41054, p. 92.

Las dimensiones y el peso del block, fabricado a partir de la mezcla número 2 del capítulo 4, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla XXII. Dimensiones y peso del block

BLOCK #	DIMENSIONES (mm)			PESO kg
	largo	ancho	alto	
1	402	150	201	11,07
2	402	150	200	11,42
3	401	150	200	11,40
4	402	150	199	11,34
5	401	150	198	9,80

Fuente: ensayos de laboratorio, CETEC, septiembre 2009.

6.2.2. Porcentaje de absorción del agua

Este porcentaje se puede indicar de dos maneras, como se detalla a continuación.

- Absorción máxima absoluta. Es la máxima absorción del agua por volumen de concreto de la muestra.

$$\text{Absorción máx. abs. kg/m}^3 = \frac{m \text{ sat.} - m \text{ seco}}{m \text{ sat.} - m \text{ ss}} \times 1000$$

- Absorción máxima en porcentaje. Es el porcentaje en masa del espécimen seco y saturado.

$$\text{Absorción máx. porcentaje en masa} = \frac{m \text{ sat.} - m \text{ seco}}{m \text{ seco}} \times 100$$

En la que:

m sat. = masa del espécimen humedecido a saturación en kilogramos

m seco = masa del espécimen completamente seco en kilogramos

m ss = masa espécimen suspendido y sumergido en agua en kilogramos

Tabla XXIII. **Absorción de agua**

BLOCK #	DENSIDAD (kg/m ³)		%ABSORCIÓN MÁXIMA	
	saturada	seca	kg / m ³	%masa
1	1 383	1 151	232	17
2	1 398	1 177	221	16
3	1 391	1 166	225	16
4	1 394	1 160	234	17
5	1 404	1 175	229	16

Fuente: ensayos de laboratorio, CETEC, septiembre 2009.

6.2.3. Determinación de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se obtiene de dividir la carga máxima a la rotura entre el área bruta de la superficie del bloque.

Los resultados de resistencia obtenidos de las muestras se indican en la siguiente tabla.

Tabla XXIV. Resistencia a la compresión

BLOCK	DIMENSIONES			RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	
	#	largo (mm)	ancho (mm)	area (mm ²)	N/mm ²
1	402	150	60 300	1,85	18,81
2	402	150	60 300	1,98	20,19
3	401	150	60 150	2,06	20,98
4	402	150	60 300	1,42	14,43
5	401	150	60 150	2,90	29,55

Fuente: ensayos de laboratorio, CETEC, septiembre 2009.

7. PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Hasta hace pocos años, la mayoría de los departamentos de la República no contaban con fábricas de block con buena tecnología y procesos de producción adecuados.

Actualmente existen fábricas con procesos automatizados y grandes volúmenes de producción en lugares como: Chiquimula, Mazatenango y Quetzaltenango.

Para la zona bajo estudio, aún esta tecnología no está implementada ya que requiere una gran inversión en recursos (maquinaria, moldes, tableros, planta, interconexiones eléctricas y capital de trabajo entre otros) para su puesta en marcha.

7.1. Tecnología

La tecnología utilizada por las fábricas de la zona bajo estudio, va desde pobre hasta regular, y existe una sola que pueda calificarse como adecuada para la fabricación de block, (Proconsa) que cuenta con máquinas hidráulicas y una mezcladora de eje vertical.

La mayoría cuenta con pequeñas máquinas hechas en talleres de la localidad no cuentan con mezcladora, realizando la mezcla de los agregados de forma manual.

Excepto en la fábrica mencionada, el proporcionamiento y el procedimiento de elaboración de la mezcla para la fabricación de block, se realiza empíricamente, por lo que la calidad de la misma depende de la experiencia del operario que la realiza.

El tiempo de fabricación del block, especialmente en el proceso de vibro compactación y asentamiento de la mezcla, depende también de la experiencia del operario, por lo que no es un procedimiento uniforme a lo largo de la jornada de trabajo.

En las fábricas no existe un método apropiado de producción que garantice que el block cumple con las normas y exigencias tanto en su fabricación como en sus cualidades.

Las fábricas visitadas tienen una producción de block primordialmente, aunque en algunas ocasiones alternan con adoquín.

En la siguiente tabla se presenta un compendio de las fábricas del lugar y su volumen de producción.

Tabla XXV. Fábricas ubicadas en cabecera departamental de San Marcos

NOMBRE DE LA FÁBRICA	PROMEDIO PRODUCCIÓN MENSUAL DE BLOCK	OTROS PRODUCTOS QUE OFRECE
San José	3 200	-
El Progreso	15 000	block 12,15 y 20 cm ancho
Vibroblock	20 000	adoquín y block 15 y 20 cm ancho
Hermanos González	35 000	adoquín y block 14 y 19 cm ancho
Proconsa	50 000	adoquín, losas prefabricadas

Fuente: elaboración propia.

7.2. Cantidad de maquinaria

La cantidad de máquinas y la calidad de las mismas, varía en cada fábrica; la mayoría son hechas en San Marcos en pequeños talleres de soldadura y mecánica y con materiales comprados en las ferreterías del lugar.

Estas máquinas carecen de componentes electrónicos que garanticen la calidad o uniformidad en el proceso productivo.

En la siguiente tabla se presenta la maquinaria disponible por fábrica, lo que da una idea de la tecnología con la que se cuenta en la zona bajo estudio.

Tabla XXVI. **Maquinaria disponible por fábrica**

FÁBRICA	MAQUINARIA DISPONIBLE
San José	No tiene mezcladora 1 máquina manual vibrocompactadora de dos block por tabla (hecha en San Marcos)
El Progreso	No tiene mezcladora 3 máquinas manuales vibrocompactadoras de dos block por tabla (hecha en San Marcos)
Vibroblock	Mezcladora de 0,20 metros cúbicos eje horizontal 3 máquinas manuales vibrocompactadoras de dos block por tabla (hecha en San Marcos)
Hermanos González	Mezcladora de 0,20 metros cúbicos eje vertical de motor diesel 3 máquinas manuales vibrocompactadoras de dos block por tabla (hecha en San Marcos)
Proconsa	Mezcladora de 0,30 metros cúbicos eje vertical 2 máquinas hidráulicas vibrocompactadoras de tres block por tabla (hecha en México) 1 máquina hidráulica vibrocompactadoras de cinco block por tabla (hecha en México)

Fuente: investigación de campo, San Marcos, septiembre 2009.

Como se puede observar, la cantidad total de block que se puede fabricar con este tipo de maquinaria es de 150 000 unidades, cantidad muy inferior a la demanda que existe en el altiplano del tercer departamento con mayor índice poblacional.

La demanda que no cubren estas fábricas, es proporcionada por empresas de Quetzaltenango (Bloteca, Precon, la Esperanza y otras) y la bocacosta de San Marcos (Indublock). En algunos casos, los productos son transportados desde la ciudad capital, especialmente del área de Villa Nueva.

CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio, se determinó que los agregados existentes en la cabecera departamental de San Marcos si se pueden utilizar para la fabricación de block porque cumplen con las normas vigentes en el país.
2. Los agregados gruesos disponibles deben someterse a un proceso adecuado de trituración y de granulometría para poder utilizarse como componente principal en la fabricación de block.
3. El volumen explotable de materiales para la fabricación de blocks es suficientemente grande como para satisfacer la demanda del departamento. Se debe tecnificar la forma de extracción de clasificación de los mismos para cumplir con las exigencias requeridas de calidad.
4. Basado en los resultados de los ensayos practicados a las piezas de block se concluye que con una maquinaria adecuada que mezcle adecuadamente los materiales se puede llegar a obtener productos que cumplan con el requisito de resistencia mínimo establecido en el país.
5. La falta de métodos adecuados de curado de las piezas de block repercute en la obtención de una tardía y baja resistencia del producto final.
6. Los agregados provenientes de la Cantera Chamac no son adecuados para la fabricación de block debido a la presencia en grandes cantidades de material orgánico.

RECOMENDACIONES

1. Es necesaria la tecnificación del equipo utilizado en las fábricas, ya que únicamente una posee maquinaria adecuada que garantiza la elaboración de mezclas y productos de calidad.
2. Los fabricantes deben implementar procesos de curado de las piezas de block ya que desconocen totalmente los beneficios que esto conlleva, especialmente en la obtención de una adecuada resistencia a la compresión.
3. Los fabricantes deben buscar la asesoría de profesionales que realicen los estudios necesarios para la obtención de las mezclas ideales para cada fábrica, especialmente para garantizar la resistencia de las piezas.
4. Utilizar el presente trabajo como referencia para los interesados en conocer el procedimiento de control de calidad de las mezclas y producto final de las fábricas de block.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Materials. *Annual book of ASTM Standards. Volumen 04.02 Concrete and Aggregates*. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Easton, 1995. 115 p.
2. BELTRANENA MATHEU, Emilio. *Agregados para concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1955. 251 p.
3. Comisión Guatemalteca de Normas. *Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía, Dirección Del Sistema Nacional De Calidad, 2005. 58 p.
4. Escuela De Ingeniería Civil. *Manual de Laboratorio del Curso de Materiales de Construcción*. Guatemala: USAC, Fac. de Ingeniería, 1985. 119 p.
5. MUÑOZ SOLARES, Juan Carlos. *Evaluación de las propiedades físico mecánicas de agregados para concreto en el departamento de San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 63 p.
6. SALÁN SÁNCHEZ, Josué Vinicio. *Evaluación del concreto y los derivados del cemento, bloques en el departamento de San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1993. 118 p.

ANEXOS

Las fotografías que se muestran a continuación corresponden a producto terminado y equipo utilizado en las pruebas de campo y laboratorio utilizados en la elaboración del trabajo de graduación.



Block debidamente identificado septiembre 2 009.



Pila de curado de block septiembre 2 009.



Block identificados en pila septiembre 2 009.



Máquina de ensayo septiembre 2 009.



Cilindro metálico para septiembre 2 009.



Cono de Abrahams, 1 992.



Tamizadora, 1 992.

