



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

TEMA:

***“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A
LA COMPRESIÓN DE MORTERO
EMPLEANDO ESPECÍMENES
CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO
ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”***

PARA OPTAR AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

**MEJÍA GARCÍA, MARIO ANDRÉS
CHINCHILLA RIVERA, VERÓNICA PATRICIA
MENDOZA BARRIOS, CLARA MARÍA**

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JAIME OMAR ÁVALOS MENDOZA

OCTUBRE 2012
SANTA ANA EL SALVADOR CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

VICERRECTOR ACADÉMICO:

MAESTRA ANA MARÍA GLOWER DE ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:

LIC. SALVADOR CASTILLO

SECRETARIO GENERAL:

DRA. ANA LETICIA DE AMAYA

FISCAL GENERAL:

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA

***FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE
OCCIDENTE***

DECANO:

LICDO. RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICE DECANO:

ING. WILLIAM VIRGILIO ZAMORA GIRÓN

SECRETARIO DE FACULTAD:

LIC. VICTOR HUGO MERINO QUEZADA

JEFE DE DEPARTAMENTO:

ING, Ms. SORAYA LISSETTE BARRERA DE GARCÍA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JAIME OMAR ÁVALOS MENDOZA

**“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO
ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”**

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JAIME OMAR ÁVALOS MENDOZA

AGRADECIMIENTOS GENERALES

Agradecemos a todas las personas que nos brindaron su apoyo y colaboración a lo largo de todo este proceso académico.

Al Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (**ISCYC**), que a través de su Director Ejecutivo Ing. Rafael Alejandro Gonzales Magaña hacen posible el desarrollo de estos trabajos investigativos por medio de alianzas institucionales; contribuyendo con todo lo necesario para el desarrollo del proyecto como materiales, equipo, apoyo técnico, logístico y bibliográfico, sin el cual este Trabajo de Grado no se hubiese desarrollado.

Al Ing. Jaime Omar Avalos Mendoza por colaborar con su apoyo como Docente Director y Asesor Externo de Trabajo de Grado, además por compartir con nosotros sus conocimientos y su amplia experiencia en aspectos relacionados con el tema de la investigación, por su ayuda, ideas y sugerencias, en todas las fases de la misma.

Al Departamento de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, en especial al ingeniero Max Adalberto Hernández Rivera, por su desinteresado aporte en cuanto al mantenimiento de las relaciones investigativas de la Universidad con instituciones como el ISCYC; así como a los catedráticos que contribuyeron a nuestra formación, por ser nuestros guías profesionales.

Al personal técnico de laboratorio, en especial al Téc. Julio Hernández, por su colaboración en el desarrollo de los ensayos, así como al personal de las diferentes áreas de dicha institución que colaboraron de alguna manera en el desarrollo de las diferentes actividades a lo largo del proceso.

A todos ustedes, muchas gracias.

DEDICATORIA

No hay nada más gratificante para el alma y el espíritu como el que se haya alcanzado una meta. Mi meta este día ha sido alcanzada, pero no es un triunfo solo mío, ya que durante este camino he contado con el apoyo de muchas personas que durante los momentos difíciles han estado ahí para ayudarme y guiarme. Por lo cual, es merecido y no puedo omitir el compartir esta victoria y agradecerles su inmenso apoyo.

A DIOS:

Por llenarme siempre de Fe y estar conmigo durante el desarrollo de mi carrera, brindándome sabiduría, salud y fortaleza para culminar una meta más en mi vida.

A MI FAMILIA:

Especialmente a mis padres y mi hermana Cecilia por su paciencia, apoyo y esfuerzo puesto para que culminara mi carrera; así como a mis demás hermanos y familiares que siempre han estado pendientes para ayudarme cuando los he necesitado.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR (FMOcc):

Especialmente a los profesores del Departamento de Ingeniería y Arquitectura de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, cuya vocación a la enseñanza y excelencia profesional nos ha permitido comenzar a formarnos como profesionales de bien.

A MIS COMPAÑEROS DE CARRERA:

Especialmente a Clara y Verónica, quienes compartieron conmigo la realización de este Trabajo de Grado, les agradezco por ayudarme a finalizarlo con éxito; también a mis demás compañeros de la carrera, que en su debido momento convivimos y disfrutamos durante el desarrollo de nuestros estudios.

AL INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO (ISCYC):

Institución donde encontré amigos que me apoyaron en todo momento, durante la realización de este Trabajo de Grado. En especial agradezco al Ing. Jaime Omar Ávalos Mendoza, quien era el asesor asignado por la institución y que tomo a bien convertirse en el Docente Director de este Trabajo de Grado. Gracias por compartir todos sus conocimientos.

Este trabajo de Grado es dedicado a ustedes como un justo tributo y reconocimiento por su ayuda incalculable, ***¡Gracias, este triunfo no es mío, es nuestro!***

Mario Andrés Mejía García.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO por concederme el Don de la existencia, y permitirme culminar una meta más en mi vida, proporcionándome la fortaleza necesaria y bendiciones cada día.

A NUESTRA VIRGEN MARÍA por su papel de **MADRE** intercesora y protectora, que ha acompañado cada uno de los pasos que he dado en este camino recorrido.

A mi madre Ana Isabel Rivera Vda. de Chinchilla, por el amor, la confianza y paciencia que me brinda cada momento, siendo mi fuente de motivación; enseñándome a través de esfuerzos y sacrificios que el camino correcto lleva muy lejos y me forma como gente de bien. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mi padre José Armando Chinchilla Ruíz (Q.E.P.D.) le dedico a su memoria este logro, con mucho respeto y cariño; gracias por tus sabios consejos, por darme siempre lo mejor y por llenarme de alegría e insustituibles momentos.

A mi hermano José Miguel Chinchilla, por su apoyo absoluto en todo momento, por darme siempre la motivación y las fuerzas para seguir adelante; confiando, creyendo y estando siempre para mí.

A toda mi hermosa familia, por ser otro de los regalos que Dios me ha brindado, especialmente a **mis primos Sara Corina Chinchilla, Oscar Rivera y Salvador Morales, mis tíos Orlando Rivera y Bertha Corina Muckleroy (Q.E.P.D.)**.

A mi novio, Hosni Méndez, por sus oportunos consejos y apoyo incondicional, por brindarme siempre de su tiempo, amistad y su amor.

A mis compañeros Clara María y Mario Andrés, por el esfuerzo y la entrega en cada etapa del proceso, hasta concluir de la mejor manera este trabajo de grado.

A mis amigos, en especial **William, Rosa e Iveth**, con quienes compartimos buenos y malos momentos, que de forma desinteresada y espontánea, me han brindado su amistad, animándome a seguir adelante.

Verónica Patricia Chinchilla Rivera.

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por reglarme vida, salud, fortaleza, y entendimiento, además de brindarme su protección e iluminarme en toda mi vida, y por concederme alcanzar una de mis metas deseadas.

A María Auxiliadora por interceder para que sean escuchadas cada una de mis peticiones y cuidarme siempre.

A mí querido padre José Antonio Mendoza como un recuerdo inolvidable de los pocos momentos que Dios nos concedió pero quedaron grabados en mi memoria y en mi corazón.

A mí querida madre Clara Luz Barrios vda. de Mendoza con profundo agradecimiento y mucho amor por sus sacrificios y desvelos en pro de mi superación, y por brindarme siempre su amor, comprensión y confianza que me convirtieron en la persona que soy, todo se lo debo a ella.

A mis hermanos Dennis Antonio Mendoza Barrios y Patricia Carolina Mendoza Barrios con amor y agradecimiento por estar siempre conmigo, por quererme, cuidarme y apoyarme durante toda mi vida.

A mi novio Hugo Alonso Albeño Cáceres con amor y agradecimiento por estar siempre pendiente de mí, y brindarme su apoyo, amistad, y sobre todo amor.

A toda mi familia con mucho cariño.

A mis profesores por sus enseñanzas y sabios consejos.

A mis compañeros en especial a **Verónica Patricia Chinchilla Rivera y Mario Andrés Mejía García** que juntos realizamos y culminamos este trabajo de grado de manera exitosa y con la promesa de recordarlos siempre.

Clara María Mendoza Barrios.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

GLOSARIO	i
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN EJECUTIVO	x
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.0 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3 JUSTIFICACIÓN	7
1.4 OBJETIVOS	8
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.5 HIPÓTESIS	9
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	9
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	9
1.6 ALCANCES	10
1.7 LIMITANTES	11
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1 INTRODUCCIÓN	13
2.2 DEFINICIÓN DE MORTERO	13
2.3 COMPONENTES DE LOS MORTEROS	13
2.3.1 CEMENTO	13
2.3.2 AGREGADO FINO (ARENA)	21
2.4 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS	33
2.4.1 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO FRESCO	33
2.4.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO	37
2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS	41
2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS ATENDIENDO A SU CEMENTANTE	41

2.5.2	CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN EL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA.....	42
2.5.3	CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN LA FLUIDEZ	43
2.5.4	CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN EL TIEMPO DE FRAGUADO.	43
2.5.5	CLASIFICACIÓN DEL MORTERO POR PROPIEDADES Y PROPORCIONES	44
2.6	USOS DEL MORTERO.....	45
2.7	CÓMO ESPECIFICAR EL MORTERO	46
2.8	LIMITANTE DE LA NORMA ASTM C 270	48
2.9	PRUEBAS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO.....	50
2.9.1	PRUEBA DESTRUCTIVA (COMPRESIÓN DE CILINDROS Y CUBOS).	51
2.9.2	PRUEBA NO DESTRUCTIVA (VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO)	52
CAPÍTULO III: PRUEBAS A MATERIALES Y MORTERO		57
3.1	INTRODUCCIÓN	58
3.2	RÍO CHIGÜILLO	59
3.3	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ARENA	61
3.3.1	GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136)	62
3.3.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C-128).....	65
3.3.3	CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO (ASTM C-566).....	69
3.3.4	PESO UNITARIO (ASTM C 29).....	72
3.3.4.1	PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (ASTM C 29)	72
3.3.4.2	PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (ASTM C 29)	75
3.3.5	SANIDAD DEL AGREGADO FINO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88).....	78
3.9	PRUEBAS AL MORTERO	84
3.9.1	FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C-109 y ASTM C-1437).	84
3.9.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO.....	87
3.9.3	PRUEBA DE VELOCIDAD PULSO ULTRASÓNICO.....	106

CAPÍTULO IV: TABULACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	110
4.1 INTRODUCCIÓN	111
4.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ARENA	111
4.2.1 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136)	111
4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C-128).....	116
4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO (ASTM C-566).....	119
4.5 PESO UNITARIO (ASTM C 29)	121
4.5.1 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (ASTM C 29).....	121
4.5.2 PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (ASTM C 29).....	122
4.6 SANIDAD DEL AGREGADO FINO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88).....	124
4.7 PRUEBAS AL MORTERO	127
4.7.1 FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C-109 y ASTM C-1437).	127
4.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO ELABORADOS SEGÚN CAMPO.	129
4.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO ELABORADOS SEGÚN LABORATORIO.....	156
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
5.1 CONCLUSIONES	179
5.2 RECOMENDACIONES	183
BIBLIOGRAFÍA	185
ANEXOS	190

GLOSARIO

Absorción: Propiedad definida como el incremento en el peso del agregado debido al agua en los poros, no incluyendo el agua en la superficie externa.

Acabados: Conceptos finales de la obra; como repellos de pasta, pisos, pintura, colocación de azulejos y revestimientos.

Adherencia: Adhesión y enlace entre los morteros de pega y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.

Aditivo: Es un producto químico que se dosifica en baja proporción en el concreto, para modificar alguna de sus propiedades y adecuarlo al fin que se destine.

Agregados: Son grava y arena que se extraen de las canteras y se usan para dar al concreto premezclado el volumen necesario e incrementar su resistencia.

Aire Incluido: Burbujas de aire incorporadas intencionalmente en el mortero o concreto durante el mezclado, usualmente empleando un agente químico.

Álcalis: Sales de metales alcalinos, principalmente sodio y potasio; específicamente el sodio y potasio que se da en los componentes del hormigón y mortero, que en los análisis químicos normalmente se expresan como los óxidos Na_2O y K_2O .

Arena: Material granular que atraviesa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), y es predominantemente retenido sobre el tamiz de 75 μm (No. 200); es el resultado de la desintegración y abrasión natural de las rocas o del procesamiento de areniscas totalmente desmenuzables.

Argiláceo: Roca sedimentaria clástica compuesta esencialmente de arcillas, tales como lutitas, pizarras, argilitas, etc.

Árido: material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Árido natural: árido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento mecanizado.

Árido tratado: árido que se sometió a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado en operaciones controladas mecanizadas.

ASTM: *American Society for Testing and Materials* (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales)

Bachada: Toda la revoltura que se prepara dentro de la revoladora o mezcladora.

Cal: producto obtenido por descomposición térmica (calcinación) de minerales calcáreos.

Cal hidráulica: producto cementicio de cal hidratada y cantidades apropiados de productos hidráulicos sílice-aluminosos cálcicos que aseguren su endurecimiento bajo agua.

Cementante: Cualquier producto que tenga la capacidad de unir piezas entre sí mismas, por ejemplo, el cemento portland, el asfalto, las resinas, etc.

Cemento: Es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire.

Cemento de Albañilería: Cementante hidráulico, muy trabajable, que se usa para pegar tabiques, ladrillo y rocas entre sí, para revestimientos, afinados, etc.

Cemento Hidráulico: Cualquier cemento, que fragua y se endurece con agua debido a la reacción química entre el agua y el cemento.

Cemento Portland: Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker y yeso y que pueda aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado.

Cemento puzolánico: Es el producto que se obtiene de la molienda conjunta de clinker, puzolana y yeso, y que puede aceptar hasta un 3% de materias extrañas, excluido el sulfato de calcio.

Clinker: Es el producto que está constituido principalmente, por silicatos cálcicos. Se obtiene por calentamiento hasta una temperatura que no podrá ser inferior a la temperatura de fusión incipiente de una mezcla homogénea finamente molida en proporciones adecuadas, formada principalmente por óxidos de calcio (CaO) y silicio (SiO₂) y por óxidos de aluminio (Al₂O₃) y hierro (Fe₂O₃) en proporciones menores. El Clinker es un producto intermedio en el proceso de elaboración de cemento. La piedra caliza, la arcilla y el óxido de hierro se calcinan en un horno a 1,450 grados centígrados para producir el Clinker.

Cohesión: Es la capacidad que tiene el mortero de mantener sus partículas unidas entre sí, y está directamente ligada a la trabajabilidad de mortero, si el mortero tiene buena cohesión permite buena trabajabilidad.

Condición Saturada y Superficialmente Seca (SSS): Es la condición ideal del agregado, donde la humedad es equivalente a la absorción.

Consistencia: Es la propiedad que define la trabajabilidad del mortero, y se consigue mediante la adición de cantidades óptimas de los componentes del mismo y bajo condiciones de colocación ya establecidas.

Curado: Tratamiento que se da al mortero o concreto recién colado, para asegurar la disponibilidad permanente de agua que permita el progreso de las reacciones químicas entre el cemento y el agua.

Dosificación: Proceso que consiste en pesar o medir volumétricamente los ingredientes del mortero (Cemento, arena y agua, y ocasionalmente aditivo), e introducirlos al mezclador.

Durabilidad: Capacidad que tiene la obra para resistir la acción del clima, el ataque químico, abrasión y otras condiciones, a que está expuesta.

Eflorescencia: Incrustación de sales solubles, generalmente blancas, depositadas en la superficie de una piedra, yeso o mortero; a menudo causado por álcalis libres en el mortero u hormigón.

Espécimen: Muestra, modelo, ejemplar, normalmente con las características de su especie muy bien definidas y que se somete a ensayos de laboratorio.

Flujo: Propiedad de un mortero, medida en un laboratorio, que indica el porcentaje de incremento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se coloca sobre una mesa de flujo, la cual se levanta mecánicamente y se deja caer un número de veces determinado, bajo condiciones específicas.

Fraguado: Cambio del estado fluido al estado rígido de una pasta de cemento, mortero o concreto. Implica pérdida de plasticidad.

Granulometría: Es la distribución por tamaños de las partículas de los agregados, generalmente expresado en porcentaje.

Gravedad Específica: Relación entre el peso en aire de una unidad de volumen de agregado, al peso de un volumen igual de agua destilada, en un mismo estado de temperatura.

Grieta: Abertura en el concreto de magnitud importante que puede ser el inicio de una falla estructural.

Hilada: Tabiques o bloques que se colocan a la misma altura en la construcción de mampostería por medio de un hilo que sirve de guía.

ISCYC: Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto

Mampostería: Obra de albañilería elaborada con piezas de construcción, como piedra, bloques, etc. unidas entre sí con algún adhesivo.

Mortero: mezcla constituida por cemento, arena y eventualmente otro material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia.

Mortero de Junta: mortero que se emplea para unir monolíticamente las unidades de albañilería de piedras, ladrillos o bloques de hormigón.

Pasta de Cemento: Constituyente del concreto que está formado por cemento y agua.

Picnómetro: Es un instrumento de vidrio utilizado para determinar la densidad de líquidos con mayor precisión. Su característica principal es la de mantener un volumen fijo al colocar diferentes líquidos en su interior, lo cual sirve para comparar las densidades de dos líquidos pesando el picnómetro con cada líquido por separado y comparando sus masas.

Puzolana: es un material sílice-aluminoso que aunque no posee propiedades aglomerantes por sí solo, las desarrolla cuando esta finamente dividido.

Relación Agua/Cemento (A/C): Relación que se obtiene de dividir el peso del agua, entre el peso del cemento de la mezcla. A mayor relación menor resistencia mecánica y menor durabilidad.

Retemplado: Nueva adición de agua y premezclado cuando la mezcla ha empezado a endurecerse y ponerse áspera.

Retentividad: capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante solicitudes externas de absorción o succión.

Revolvedora: Equipo que se usa para mezclar los agregados, el cemento y el agua, para la producción de un mortero o concreto fresco.

Sílice: Elemento que existe normalmente como un óxido en forma soluble, insoluble y coloidal que se encuentra en casi todas las rocas, siendo el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc.

Succión: La capacidad de absorción de humedad que poseen los materiales.

Tamaño máximo absoluto de un árido (Da): corresponde a la abertura del menor tamiz de las series establecidas que deja pasar el 100% de la masa del árido.

Tamaño máximo nominal de un árido (Dn): corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor que Da, cuando por dicho tamiz pase el 90% o más de la masa de un árido. Cuando pasa menos del 90%, el tamaño máximo nominal se considerara igual al tamaño máximo absoluto.

Tamiz: Instrumento similar a una coladera, que se usa para separar las partículas gruesas de las finas, que integran un conjunto o una mezcla.

Textura: Regularidad de la superficie de una unidad o chapa determinada por la dosificación de los materiales y del proceso de fabricación.

Tiempo de Fraguado: Período en el que una mezcla permanece en estado plástico, durante el cual la manejabilidad es óptima.

Trabajabilidad: Característica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido.

Unidad de albañilería: pieza simple empleada en la construcción de albañilería: ladrillo cerámico, bloque de hormigón u otra.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MORTERO EN ESTADO FRESCO.	2
FIGURA 2: ESPECÍMENES CÚBICOS Y CILÍNDRICOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN.....	3
FIGURA 3: CEMENTO HOLCIM CESSA PORTLAND TIPO GU.	16
FIGURA 4: CEMENTO HOLCIM CUSCATLÁN TIPO M.	17
FIGURA 5: CEMENTO HOLCIM CESSA 5000 TIPO I.....	18
FIGURA 6: CEMENTO HOLCIM CESSA PAV TIPO HE.	19
FIGURA 7: CEMENTO HOLCIM CESSA BLOCK.	20
FIGURA 8: EFECTO QUE PRODUCE LA ADICIÓN DE AGUA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA ADHERENCIA EN EL MORTERO.	30
FIGURA 9: CÓMO UTILIZAR LA NORMA C270 Y LA C780.	49
FIGURA 10: ESPÉCIMEN CILÍNDRICO SOMETIDO A COMPRESIÓN.	51
FIGURA 11: MÉTODOS DE PROPAGACIÓN Y RECEPCIÓN DE PULSOS ULTRASÓNICOS.....	54
FIGURA 12: RÍO CHIGÍLLO Y CALLE DE ACCESO.	59
FIGURA 13: MAPA DE UBICACIÓN DEL RÍO CHIGÜILLO, SANTA ANA, EL SALVADOR.	60
FIGURA 14: LUGAR DONDE SE REALIZÓ EL MUESTREO.	61
FIGURA 15: HORNO PARA EL SECADO DE LA ARENA.	62
FIGURA 16: BALANZA DE 0.1 GR DE PRECISIÓN.	63
FIGURA 17: JUEGO DE 7 TAMICES, TAPA Y FONDO PARA EL TAMIZADO DE LA ARENA.	63
FIGURA 18: RESULTADO DEL TAMIZADO DE LA ARENA.	64
FIGURA 19: ARENA SUMERGIDA EN AGUA DURANTE 24 HORAS.....	66
FIGURA 20: ARENA EXPUESTA A LA LUZ SOLAR.....	66
FIGURA 21: PROCEDIMIENTO DEL CONO TRUNCADO PARA LA HUMEDAD SUPERFICIAL.....	67
FIGURA 22: PROCEDIMIENTO DEL CONO TRUNCADO PARA LA HUMEDAD SUPERFICIAL.....	67
FIGURA 23: PROCEDIMIENTO DEL PICNÓMETRO.....	68
FIGURA 24: MUESTRA DE ARENA DENTRO DEL ANALIZADOR DE HUMEDAD.	70
FIGURA 25: ANALIZADOR DE HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE ANÁLISIS.....	71
FIGURA 26: VERIFICACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.	71
FIGURA 27: PROCEDIMIENTO DEL SECADO Y CUARTEO DE ARENA.	73
FIGURA 28: RECIPIENTE VOLUMÉTRICO PARA EL ENSAYO.	74
FIGURA 29: PROCESO DE LLENADO Y ENRASADO PARA EL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO.....	74
FIGURA 30: RECIPIENTE VOLUMÉTRICO CON AGREGADO FINO.	75
FIGURA 31: APLICACIONES DE 25 GOLPES A LA PRIMERA CAPA.	76
FIGURA 32: VARILLADO POR CAPAS Y ENRASADO.....	77
FIGURA 33: LAVADO DEL AGREGADO Y SEPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA EL SECADO.....	81
FIGURA 34: ARENA QUE HA SIDO SUMERGIDA EN SULFATO DE SODIO.....	82
FIGURA 35: FRACCIONES LAVADAS, SECAS Y TAMIZADAS DESPUÉS DE LOS 5 CICLOS DE INMERSIÓN EN SULFATO DE SODIO.....	83
FIGURA 36: MESA DE FLUJO Y CONO TRUNCADO.	84
FIGURA 37: FORMA DE LEVANTAR EL CONO TRUNCADO - MORTERO LISTO PARA INICIAR CON LA SECUENCIA DE 25 GOLPES.....	86
FIGURA 38: MEDICIÓN DE LAS 4 LECTURAS DEL MORTERO EN LAS MARCAS DE LA MESA DE FLUJO.....	86
FIGURA 39: CONCRETERA MECÁNICA DE UNA BOLSA.	88
FIGURA 40: FLUIDEZ DEL MORTERO PARA DIFERENTES BACHADAS O REVOLTURAS.....	89

**“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES
CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”**

FIGURA 41: ÚLTIMA CAPA DE MORTERO EN EL LLENADO. - ACABADO DE LA SUPERFICIE SUPERIOR.....	90
FIGURA 42: COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 2 PULG X 4 PULG Y 3 PULG X 6 PULG.....	92
FIGURA 43: FALLAS A COMPRESIÓN EN CILINDROS DE 3 PULG X 6 PULG Y 2 PULG X 4 PULG ENSAYADOS A LOS 7 DÍAS.	92
FIGURA 44: MORTERO EN RESPOSO - SUPERFICIE SUPERIOR PLANA A NIVEL CON EL BORDE DEL MOLDE DE 6 PULG X 12 PULG.	95
FIGURA 45: CILINDROS DE 6 PULG X 12 PULG DESENMOLDADOS Y ROTULADOS.....	96
FIGURA 46: TOMA DE MASA Y DIMENSIONES DE 6 PULG X 12 PULG.	97
FIGURA 47: CENTRADO DEL ESPÉCIMEN EN LA MÁQUINA DE COMPRESIÓN.	97
FIGURA 48: CILINDROS DE 6 PULG X 12 PULG SOMETIDO A COMPRESIÓN.	98
FIGURA 49: TIPOS DE FALLAS EN CILINDROS DE 6 PULG X 12 PULG.....	98
FIGURA 50: SECUENCIA PARA LLENAR Y APISONAR LOS MOLDES CÚBICOS DE 2 PULG.	101
FIGURA 51: FORMA DE APISONADO POR CAPA DE LOS ESPECÍMENES CÚBICOS.	101
FIGURA 52: DESENMOLDADO Y ROTULADO DE CUBOS DE 2 PULG.....	102
FIGURA 53: CUBO DE 2 PULG SOMETIDO A CARGA DE COMPRESIÓN.....	104
FIGURA 54: FALLAS A COMPRESIÓN DE CUBOS DE 2 PULG EN CAMPO.	105
FIGURA 55: FALLAS A COMPRESIÓN DE CUBOS DE 2 PULG EN LABORATORIO.....	105
FIGURA 56: ESPECÍMENES SELECCIONADOS PARA LA PRUEBA DE PULSO ULTRASÓNICO.	107
FIGURA 57: CALIBRACIÓN DEL APARATO.....	108
FIGURA 58: ACOPLAMIENTO DE TRANSDUCTORES.	108
FIGURA 59: POSICIÓN DE LOS TRANSDUCTORES EN LOS ESPECÍMENES DE 6 PULG X 12 PULG Y DE 3 PULG X 12 PULG.	109
FIGURA 60: TOMA DE LECTURAS DE DATOS.	109
FIGURA 61: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RÍO CHIGÜILLO.....	115
FIGURA 62: FALLA POR PARTIDURA EN CILINDRO DE MORTERO.	160
FIGURA 63: PROMEDIO POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO.	161
FIGURA 64: PROMEDIOS POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CAMPO.	163
FIGURA 65: LABORATORIO VERSUS CAMPO (CILINDROS 6 PULG X 12 PULG).....	166
FIGURA 66: LABORATORIO VERSUS CAMPO (CILINDROS DE 3 PULG X 6 PULG).....	167
FIGURA 67: LABORATORIO VERSUS CAMPO (CILINDROS DE 2 PULG X 4 PULG).....	167
FIGURA 68: LABORATORIO VERSUS CAMPO (CUBOS DE 2 PULG).	168
FIGURA 69: ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG, 3 PULG X 6 PULG, Y DE 6 PULG X 12 PULG.....	173
FIGURA 70: ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG, 3 PULG X 6 PULG, Y DE 6 PULG X 12 PULG.....	174

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: REQUISITOS FÍSICOS DEL CEMENTO DE MAMPOSTERÍA SEGÚN ASTM C 91.....	15
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO FINO DE ACUERDO CON EL VALOR DEL MÓDULO DE FINURA.....	23
TABLA 3: TOLERANCIAS DE CONCENTRACIONES DE IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLAS Y CURADO.....	32
TABLA 4: CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS EN FUNCIÓN DEL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA.....	42
TABLA 5: CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS EN FUNCIÓN DE LA FLUIDEZ.....	43
TABLA 6: CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO.....	43
TABLA 7: ESPECIFICACIÓN POR PROPORCIÓN (ASTM C 270).....	44
TABLA 8: ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES (ASTM C270).....	45
TABLA 9: GUÍA PARA SELECCIÓN DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA (ASTM C270).....	47
TABLA 10: TAMICES UTILIZADOS PARA LA PRUEBA DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS.....	80
TABLA 11: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA DEL RÍO CHIGÜILLO.....	113
TABLA 12: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LA ARENA DEL RÍO CHIGÜILLO.....	118
TABLA 13: DATOS PARA EL PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.....	122
TABLA 14: DATOS PARA EL PESO VOLUMÉTRICO SECO VARILLADO.....	123
TABLA 15: MASA Y PORCENTAJE DE RETENIDOS EN LA SERIE DE TAMICES.....	126
TABLA 16: SANIDAD DE LA ARENA DEL RÍO CHIGÜILLO.....	126
TABLA 17: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG.	131
TABLA 18: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG.	133
TABLA 19: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG.	135
TABLA 20: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 3 PULG X 6 PULG.	137
TABLA 21: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 3 PULG X 6 PULG.	139
TABLA 22: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 3 PULG X 6 PULG.	141
TABLA 23: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 2 PULG.....	143
TABLA 24: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 2 PULG.....	145
TABLA 25: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 2 PULG.....	147
TABLA 26: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 3 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG.	150
TABLA 27: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG.....	152
TABLA 28: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE ESPECÍMENES CILÍNDRICAS DE 6 PULG X 12 PULG.....	154
TABLA 29: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 3 DÍAS EN CUBOS DE 2 PULG.....	156
TABLA 30: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 7 DÍAS EN CUBOS DE 2 PULG.....	156
TABLA 31: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 28 DÍAS EN CUBOS DE 2 PULG.....	157
TABLA 32: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 3 DÍAS EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG, 3 PULG X 6 PULG, Y 2 PULG X 4 PULG.....	157
TABLA 33: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 7 DÍAS EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG, 3 PULG X 6 PULG, Y 2 PULG X 4 PULG.....	158

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

TABLA 34: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO A LOS 28 DÍAS EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG, 3 PULG X 6 PULG Y 2 PULG X 4 PULG.....	159
TABLA 35: PROMEDIO POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LABORATORIO.....	161
TABLA 36: PROMEDIO POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CAMPO.	162
TABLA 37: RESUMEN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA.	162
TABLA 38: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	164
TABLA 39: COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN LABORATORIO Y CAMPO.	165
TABLA 40: VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA (2 PULG X 2 PULG VRS 6 PULG X 12 PULG).	169
TABLA 41: VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA (2 PULG X 4 PULG VRS 6 PULG X 12 PULG).	169
TABLA 42: VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA (3 PULG X 6 PULG VRS 6 PULG X 12 PULG).	170
TABLA 43: RESULTADOS DE PULSO ULTRASÓNICO PARA ESPECÍMENES CILÍNDRICOS A LA EDAD DE 3, 7 Y 28 DÍAS.....	171
TABLA 44: RESULTADOS DE PULSO ULTRASÓNICO PARA ESPECÍMENES CILÍNDRICOS A LA EDAD DE 28 DÍAS ..	172
TABLA 45: CRITERIOS DE EVALUACIÓN EN PULSO ULTRASÓNICO.....	175
TABLA 46: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL MORTERO DE ACUERDO A LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.	176
TABLA 47: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL MORTERO DE ACUERDO A LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.	177

RESUMEN EJECUTIVO

El mortero se ha usado desde tiempos antiguos, y es una mezcla que formada por un cementante, agregado fino como la arena y agua forman una pasta que luego endurecerá y brindará propiedades de resistencia y adherencia a la mampostería.

En la actualidad el mortero, es esencial en la construcción, ya que es el material por excelencia con el que se unen los bloques de concreto, ladrillos o piedras entre otros. Además es usado para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y el refuerzo, también para repello de paredes, disminuyendo la infiltración y brindando una apariencia estética uniforme, estas, entre otras muchas aplicaciones.

Una de sus propiedades importantes es la resistencia a la compresión, que el mortero presenta cuando se ve sometido a una carga. Muchas especificaciones de proyectos establecen la resistencia mínima que un mortero debe cumplir en la obra, garantizando de esta manera la correcta estabilidad de la estructura durante su vida útil. Por lo cual se hace necesaria la realización de pruebas al mortero que se está utilizando, como una manera de verificar que cumpla con la resistencia especificada. Pero muchas veces, se desconocen los procedimientos y normativas aplicadas para la correcta ejecución y evaluación de esta importante propiedad. Y este punto, ha sido la base para llevar a cabo este Trabajo de Grado, denominado: **“Determinación de la resistencia a la compresión de motero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país”**.

Teniendo como objetivo principal evaluar la resistencia a la compresión presentada por el mortero a las edades de 3, 7 y 28 días, cuando son empleados los procedimientos y especímenes descritos en la norma ASTM C780 y cuando se utilizan los procedimientos y el espécimen establecido por la norma ASTM C31. Es decir, la investigación consiste en someter a prueba diferentes tamaños de especímenes, para establecer al final de ella la factibilidad del uso de una sola medida de espécimen para la determinación de la resistencia a la compresión del mortero.

Este Trabajo de Grado se ha dividido en cinco capítulos, ordenados de la siguiente manera:

En el Capítulo I se presentan las generalidades de la investigación, en esta etapa se da a conocer el planteamiento del problema, la justificación de la investigación, los objetivos, las hipótesis, finalizando con los alcances y limitantes de la investigación.

El Capítulo II, es la base conceptual o fundamentos teóricos de la investigación, en él se aborda de manera ordenada todo lo relacionado con los morteros, partiendo de la definición, prosiguiendo con la descripción de las propiedades de cada uno de sus componentes; para luego conocer sus propiedades en estado fresco y en estado endurecido, sus usos y formas de clasificarlo. Finalizando con las pruebas realizadas para medir la resistencia que el mortero presenta en estado endurecido, abarcando dentro de estas a las pruebas de carácter destructivo y las de carácter no destructivo.

En el capítulo III, se describe de manera ordenada los procedimientos y la normativa ASTM aplicada para llevar a cabo cada una de las pruebas empleadas para evaluar la arena utilizada, así como las pruebas realizadas al mortero en estado plástico y en estado endurecido.

En el capítulo IV llamado Tabulación, Análisis e Interpretación de Datos, se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el capítulo III, se muestran tablas y gráficas, que permiten interpretar el comportamiento de los diferentes especímenes evaluados por cada edad. Para luego fundamentar los alcances de objetivos y dar paso las conclusiones de la investigación.

Por último y como Capítulo V de este Trabajo de Grado, se indican las conclusiones a las cuales el equipo formulador llegó, después de haber, evaluado e interpretado los resultados de la investigación. Brinda además recomendaciones para personas que estén interesados en el tema o para futuras investigaciones referente a este.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.0 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El mortero es esencial en construcción, ya que es el material con el que se unen los bloques de construcción como ladrillos, piedras, bloques de hormigón etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el relleno de paredes. El mortero se ha usado desde tiempos antiguos y es una mezcla que forma una pasta de cemento, agregado fino como la arena y agua, como se muestra en la figura 1.

Figura 1: Mortero en estado fresco.



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Mortero_\(construcci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Mortero_(construcci%C3%B3n))

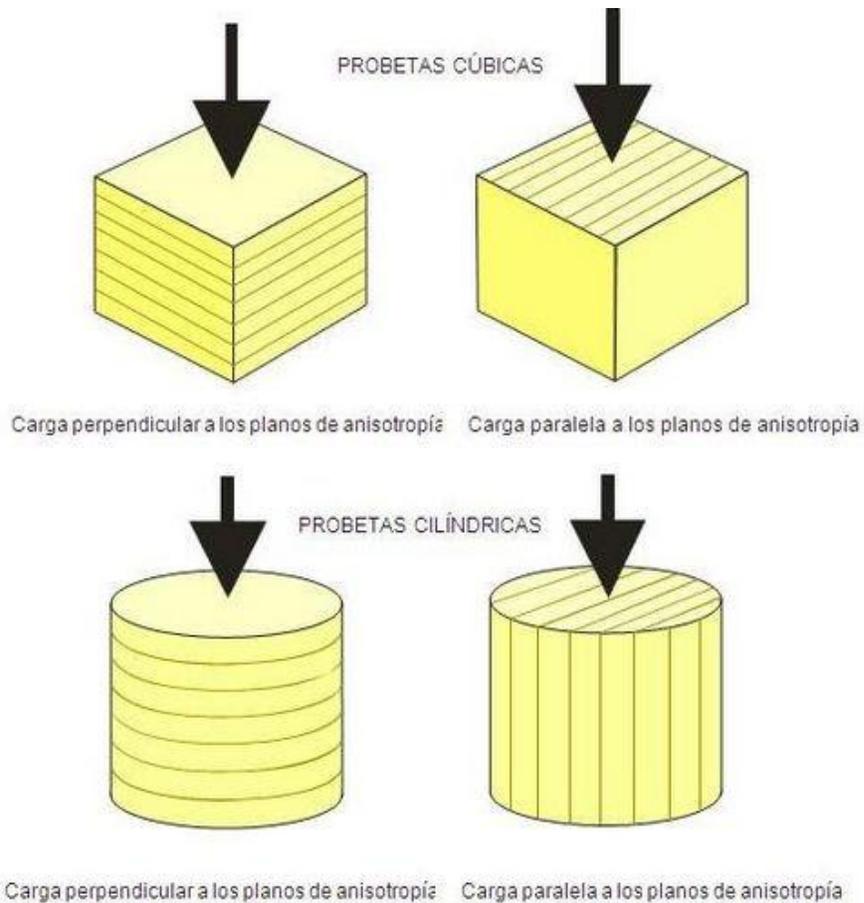
Como material de construcción ofrece beneficios, entre los que se pueden distinguir dos etapas diferenciadas por su estado físico, que se denominan **estado fresco** y **estado endurecido**.

La primera responde a la fase del mortero una vez mezclado y amasado. En esta etapa el mortero es plástico y trabajable, lo que permite su puesta en obra e influirá principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Superada esta fase el mortero endurece hasta consolidarse.

Las propiedades en **estado endurecido** son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias, entre una de sus funciones principales está el servir como dispositivo de unión y como

dispositivo soportante de la compresión (ver figura 2), producto de las cargas de los elementos de mampostería. Esta resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes, ya que estará presente durante el transcurso de su vida útil y de ella depende la estabilidad de la obra que se ejecute. Por lo cual se requiere el adecuado conocimiento en el establecimiento de la resistencia a la compresión del mortero, para que este pueda soportar las cargas, según lo requerido por el diseño.

Figura 2: Especímenes cúbicos y cilíndricos sometidos a compresión.



Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/images/thumb/c/ca/AP_007_Resistencia_a_la_ompresi%C3%B3n_de_piedra_natural.JPG/500pxAP_007_Resistencia_a_la_ompresi%C3%B3n_de_piedra_natural.JPG

A pesar que el empleo de mortero es muy amplio en las obras civiles que se construyen en el país, la metodología empleada para determinar la resistencia a la compresión por parte de los proyectistas, en la mayoría de veces, no es la adecuada.

Tomando en cuenta esta situación, se plantea realizar un estudio sobre la **Determinación de la resistencia a la compresión de motero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país;** basándose en la norma ASTM C780: **METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA PRE CONSTRUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA UNIDADES DE ALBAÑILERÍA SIMPLE Y REFORZADO**, de acuerdo a la misma, se elaborarán especímenes cúbicos de 2 pulgadas y cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y 6 pulg x 12 pulg, para ensayarlos y establecer su resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días respectivamente. Los datos obtenidos producto de estos ensayos se utilizarán para establecer el tipo de espécimen que proporcione la mayor confiabilidad y seguridad en la determinación de la resistencia a la compresión de morteros.

Para el desarrollo de esta investigación se han establecido 2 variables, las cuales son: **CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA** regido bajo la Norma ASTM C 91, y **ARENA** procedente de la zona OCCIDENTAL del país, específicamente del **RÍO CHIGÜILLO** ubicado en el municipio de **SANTA ANA**, del departamento de **SANTA ANA**. Estableciendo como base el diseño de mezcla 1 parte de cemento por 3 partes de arena.

Este proyecto de investigación consiste principalmente en someter a un análisis científico el método de resistencia a la compresión del mortero, con diferentes especímenes (cilíndricos y cúbicos) con la finalidad de generar información científica y fidedigna, que demuestre lo factible y eficiente que es establecer una sola medida, para que el espécimen garantice un menor costo y una precisión adecuada a la hora de realizar los ensayos de la determinación de la resistencia a la compresión.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En un intento de tipificar los métodos de ensayo, la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales, conocida por sus siglas en inglés como A.S.T.M., ha redactado especificaciones que son de uso común en Estados Unidos y numerosos países de América y Europa, caso de ello es El Salvador. Pero a pesar de esto, en las especificaciones para pruebas de compresión de morteros no se determina un tipo específico de molde a utilizar, sino que se dan 3 opciones (cubos de 2 pulg, cilindros de 2 pulg x 4 pulg y 3 pulg x 6 pulg); la experiencia en el país ha demostrado que no se tiene un conocimiento claro de ellas, ya que las especificaciones particulares de los proyectos exigen la determinación de la resistencia a la compresión de dichos morteros, utilizando especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm), cuando en la norma internacional ASTM C780: ***Método de Prueba Estándar para Preconstrucción y de evaluación de morteros para unidad de albañilería simple y reforzada***, está claramente definido el uso de cilindros de 3 pulg x 6 pulg (8 cm x 15 cm), 2 pulg x 4 pulg (5 cm x 10 cm) o cubos de 2 pulg (5 cm). Es decir, se están realizando pruebas de laboratorio con especímenes de dimensiones mayores, lo cual implica que sean más difíciles de manejar; utilizando un mayor volumen de mortero en el proceso, lo que causa al mismo tiempo una notable demanda de espacio en laboratorio para almacenamiento y curado, incrementando la probabilidad de dañarlos accidentalmente.

Lo antes expuesto se está empleando en el país muchas veces por criterio propio del formulador del proyecto, el cual ha establecido las especificaciones muchas veces a criterio personal, sin tomar en cuenta las normas ASTM. Todo lo anterior provoca que al final de la obtención de los resultados no tenga como hacer una adecuada interpretación de los mismos, ya que no tendrá parámetros establecidos con los cuales se podrán hacer las comparaciones necesarias para determinar la calidad del mortero en estudio. Mientras que cuando se aplican los lineamientos establecidos por la norma ASTM C780, que garantiza una normalización en las probetas con

respecto al tamaño y forma, el método de preparación y los procedimientos de los ensayos.

Consciente de este problema, se pretende desarrollar un estudio que presente los resultados obtenidos con respecto a pruebas de resistencia a la compresión de morteros, comparando los resultados obtenidos con el espécimen cilíndrico de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm) que se utiliza en la actualidad con los especímenes que establece la norma internacional ASTM C780.

Este estudio será presentado en un documento que contendrá aspectos importantes sobre los resultados obtenidos, convirtiéndose en una herramienta auxiliar de gran ayuda, no solo para estudiantes sino también para formuladores de proyectos, constructores, y que además abrirá el camino para futuras investigaciones con respecto al tema en el país.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El tamaño de los especímenes de mortero utilizados para la prueba de resistencia a la compresión en el país, son según especificaciones propias de los proyectos locales, en ocasiones de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm), mientras que está prescrito en la norma ASTM C780: ***Método de Prueba estándar para Preconstrucción y Evaluación de morteros para unidad simple y reforzada***, en la cual se establece el uso de cilindros de 3 pulg x 6 pulg (8 cm x 15 cm), 2 pulg x 4 pulg (5 cm x 10 cm) o cubos de 2 pulg (5 cm).

El uso de especímenes más pequeños, los hace más fácil de manejarlos y tienen menos probabilidad de ser dañados accidentalmente, se utiliza menos mortero en el proceso y se requiere un espacio menor de almacenamiento para su curado. Es evidente, por tanto, la necesidad de realizar estudios que puedan establecer la medida más idónea de especímenes para realizar la prueba de la resistencia a la compresión de mortero, para obtener resultados mucho más confiables y convenientes para este tipo de pruebas, que garanticen datos mucho más certeros y que permitan elaborar dichas pruebas de manera más rápida y a un menor costo.

En esta investigación se pretende tomar como materias primas el Cemento para Albañilería regido bajo la norma ASTM C91: ***Especificación para Cemento de Albañilería***, y como agregado pétreo, arena proveniente del Río Chigüillo, ubicado en el municipio de Santa Ana, departamento de Santa Ana, perteneciente a la zona occidental del país, realizándole pruebas para establecer su calidad.

Por lo anteriormente expresado, se justifica la necesidad de realizar un estudio respecto a la **Determinación de la resistencia a la compresión de motero empleando especímenes cilíndricos y cúbicos, utilizando arena del occidente del país**, aplicando lo establecido en las normas ASTM que sean necesarias para su desarrollo. Dicho estudio se plasmará en un documento que servirá como una herramienta auxiliar de gran ayuda, no solo para estudiantes sino también para formuladores, constructores y supervisores de proyectos de las empresas del país.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia a la compresión presentada por el mortero a las edades de 3, 7 y 28 días, cuando son empleados los procedimientos y especímenes descritos en la norma ASTM C780: Método de Prueba Estándar para Preconstrucción y evaluación de Morteros para unidad simple y reforzada, y cuando se emplean los procedimientos y el espécimen establecido por la norma ASTM C31: Práctica estándar para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el campo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Observar las variaciones que pueden sufrir las propiedades de resistencia a la compresión de los morteros, cuando se utiliza especímenes de pruebas de dimensiones 3 pulg x 6 pulg (8 cm x 15 cm), 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30cm), 2 pulg x 4 pulg (5 cm x 10 cm) y cubos de 2 pulg (5 cm).
2. Establecer con cual tamaño de espécimen se obtiene el valor más representativo en una prueba de resistencia a la compresión de un mortero.
3. Realizar un estudio sobre las propiedades técnicas que posee la arena del río Chigüillo, ubicado en el departamento de Santa Ana; para establecer la calidad de ésta para ser utilizada en la elaboración de morteros de albañilería.
4. Elaborar un documento con la información obtenida sobre la investigación realizada, con el fin de que sirva como una herramienta auxiliar de gran ayuda, no solo para estudiantes, sino también para formuladores, constructores y supervisores de proyectos constructivos, así como también para futuras investigaciones relacionadas con el tema en el país.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

La resistencia a la compresión del mortero determinada a través de cubos de 2 pulg x 2 pulg y cilindros de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg es equivalente a la resistencia obtenida en los cilindros de 6 pulg x 12 pulg.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. El resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero en el laboratorio, utilizando un cubo de 2 pulg (5 cm) y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm), no variará en un máximo del 15%.
2. El resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero en el laboratorio, utilizando un cilindro de 2 pulg x 4 pulg (5 cm x 10 cm) y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm), no variará en un máximo del 10%.
3. El resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero en el laboratorio, utilizando un cilindro de 3 pulg x 6 pulg (8 cm x 15 cm), y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg (15 cm x 30 cm), no variará en un máximo del 5%.
4. La arena procedente del río Chigüillo del departamento de Santa Ana, cumple con las especificaciones requeridas para la elaboración de morteros de albañilería.

1.6 ALCANCES

1. La investigación se centrará en la elaboración de especímenes de mortero de las siguientes medidas: cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg, 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y cubos de 2 pulg x 2 pulg.
2. Se utilizará el método de ensayo C780 para cilindros (2 pulg x 4 pulg y 3 pulg x 6 pulg) y cubos de 2 pulg, de mortero, en la determinación de la fuerza de compresión para los diferentes tamaños de especímenes, con el fin de obtener resultados que puedan ser comparados para su respectivo análisis.
3. Se tomará como base la norma ASTM C31 para la elaboración de cilindros de mortero de 6 pulg x 12 pulg, debido a que no existe ninguna otra norma que rija este tamaño de espécimen para la determinación de la resistencia a la compresión de mortero.
4. Se elaborarán 15 pares de muestras de las diferentes medidas de cada espécimen cilíndrico, y 15 tríos de especímenes cúbicos de mortero para poder realizar la determinación de la resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días.
5. Se analizarán los resultados obtenidos en las pruebas de los diferentes especímenes, comparándolos para especificar el tamaño idóneo para ser utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión del mortero, empleado en las obras civiles.

1.7 LIMITANTES

1. No se utilizará la versión más reciente de la norma ASTM C780: ***Método de Prueba estándar para Preconstrucción y Evaluación de morteros para unidad simple y reforzada***, la cual está en vigencia en la actualidad.
2. Se elaboraran moldes de pvc para la elaboración de especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg y 3 pulg x 6 pulg.
3. No se realizaran pruebas de laboratorio relacionadas con la composición química de los elementos en estudio.
4. Debido al reducido espacio con que se cuenta en laboratorio y el costo de los ensayos de resistencia a la compresión del mortero, se ha optado por utilizar solo un tipo de cemento y solo un tipo de arena proveniente de un solo lugar de la zona occidental del país.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

Los morteros son de gran uso en la actualidad, por lo que dentro del contenido de los Materiales de Construcción no se puede obviar este tema. Por esta razón, la base de este capítulo, en esencia, está dirigida a profundizar en el tema referente a los morteros utilizados en la construcción, partiendo de la definición de mortero como tal; para luego proseguir con la descripción de sus componentes, propiedades, clasificación, usos y como especificarlo en la obra; finalizando con la temática de las prueba destructivas y no destructivas realizadas para medir la resistencia a la compresión del mortero cuando se encuentra en estado endurecido.

2.2 DEFINICIÓN DE MORTERO

Se define como una mezcla de material aglutinante (cemento o cal), con material de relleno (agregado fino o arena), y eventualmente aditivos, que mezclados con una cantidad conveniente de agua forman una masa plástica, que al endurecerse preserva cualquier forma y textura que se le haya dado mientras estaba plástica.

2.3 COMPONENTES DE LOS MORTEROS

2.3.1 CEMENTO

Los materiales denominados como cementantes, tienen como función servir de aglutinante y dar la resistencia esperada a la mezcla. Es decir, el cementante proporciona una soldadura entre grano y grano de arena, al cubrirlos en forma de película fina, la cual a la vez sirve de lubricante (determinante de la trabajabilidad)

cuando el mortero está fresco (plástico) y de agente adhesivo-cohesivo cuando esta endurecido (determinante de la resistencia).

CEMENTO PORTLAND

Son los más comunes entre los cementos hidráulicos modernos. Se producen mezclando proporciones muy exactas de materiales calcáreos y argiláceos. Luego, la mezcla se calcina en un horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1500 °C, con lo que se forma bolas nodulizadas duras, llamadas clinker o escoria. Enseguida se muele el clinker junto con un retardador (generalmente roca de yeso) hasta convertirlo en un polvo finísimo, que se conoce como cemento Portland.

CEMENTO DE MAMPOSTERÍA

Al final de la década de los 20, los fabricantes de cemento Portland empezaron a formular combinaciones especiales de cemento Portland y plastificantes para la industria de la mampostería. Estas mezclas preparadas y empacadas en bolsas luego se llamaron cementos de mampostería.

El cemento de mampostería, es un cemento hidráulico que consiste en una mezcla de cemento Portland o mezcla de otro tipo de cemento hidráulico y materiales plastificantes tales como la caliza, cal hidratada o hidráulica, junto con otros materiales introducidos para aumentar una o más propiedades, como el tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua, y durabilidad.

El cemento de mampostería se emplea en la elaboración de morteros para aplanados, juntas de bloques y otros trabajos similares, por cuyo motivo también se le denomina cemento de albañilería. Dos características importantes de este cemento son su plasticidad y su capacidad para retener el agua de mezclado. Tomando en cuenta que sus requisitos de resistencia son comparativamente

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

menores que los del Portland, esas características suelen fomentarse con el uso de materiales inertes, tales como caliza y arcilla, que pueden molerse conjuntamente con el Clinker o molerse por separado y mezclarse con el cemento Portland ya elaborado. Los cementos de mampostería son mezclas con fórmulas especiales y con patente de fabricación. Los empaques muestran la marca, el nombre del fabricante, el tipo de cemento de mampostería y peso neto; pero normalmente no revelan la combinación exacta de cemento, plastificante y aditivos.

En 1932, el ASTM publicó la primera norma para la industria del cemento de mampostería, la C 91, **Especificación Estándar para Cemento de Mampostería**. Esta cubre requisitos de finura, expansión bajo presión, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, contenido de aire y retención de agua. Estos requisitos se muestran en **la tabla 1**.

Tabla 1: Requisitos físicos del cemento de mampostería según ASTM C 91.

TIPO DE CEMENTO DE MAMPOSTERÍA	N	S	M
Finura, residuo en el tamiz No. 325, máximo; %	24	24	24
Expansión bajo presión, máximo; %	1.0	1.0	1.0
Tiempo de fraguado, método Gillmore			
Conjunto inicial, horas (minutos)	2 (120)	1.5 (90)	1.5 (90)
Conjunto final, horas (minutos)	24 (1440)	24 (1440)	24 (1440)
Resistencia a la compresión (promedio de tres cubos), mínima			
7 días, MPa (psi)	3.4 (500)	9.0 (1300)	12,4 (1800)
28 días, MPa (psi)	6.2 (900)	14,5 (2100)	20,0 (2900)
Contenido de aire del mortero			
Mínimo,% en volumen	8	8	8
Máximo,% volumen	21	19	19
Valor de retención del caudal original de agua, mínimo, %	70	70	70

Fuente: Norma ASTM C 91

Como lo indica la tabla 1, la norma C 91 define tres tipos de cementos de mampostería, los cuales son del tipo N, S y M, empleados para uso en la fabricación de morteros tipo N, S y M de acuerdo con la norma ASTM C 270. El tipo N es un cemento de uso generalizado, el tipo S es de moderada resistencia y el tipo M es un cemento de alta resistencia. Cuando se combinan con cemento Portland o cemento hidráulico pulverizado, el tipo N puede usarse para hacer los tipos de mortero S y M; y el cemento tipo S puede usarse para hacer el mortero tipo M.

CEMENTOS PRODUCIDOS EN EL SALVADOR

a. Cemento para Uso General

Figura 3: Cemento Holcim CESSA PORTLAND tipo GU.



Fuente: www.holcim.com.sv

Holcim CESSA PORTLAND Tipo GU es un cemento hidráulico de uso general, el cual posee la misma composición del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final. Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4000 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para cualquier tipo de uso en las construcciones en general.

Características

Debido a sus características de desempeño, este cemento puede ser utilizado en la construcción en general, sobre todo en aquellas que no requieran de altas

resistencias a edades tempranas. Puede ser utilizado para la fabricación de concretos estructurales, morteros, suelo-cemento, entre otros.

b. Cemento para Uso en Albañilería

Figura 4: Cemento Holcim Cuscatlán tipo M.



Fuente: www.holcim.com.sv

El Cemento Holcim Cuscatlán Tipo M se fabrica de la misma manera que el cemento Tipo I, con la diferencia que en la molienda final se añade caliza y una resina plastificante inclusora de aire. La dosificación óptima de estos ingredientes y nuestros rígidos procedimientos de control de calidad, garantizan los buenos resultados en sus obras. El agente plastificante inclusor de aire genera micro-burbujas que actúan como lubricantes entre partículas y eso produce mezclas más trabajables, ideales para cualquier tipo de obras en albañilería. La resistencia a la compresión del Cemento Holcim Cuscatlán en muestras normalizadas en pruebas de laboratorio es superior a los 3000 psi a los 28 días, mostrado en el anexo 1; sin embargo, no es recomendable para la fabricación de concretos estructurales.

Características

Debido que las mezclas de Cemento Cuscatlán permanecen por mayor tiempo en estado plástico y por tanto trabajables, una vez endurecidas sufrirán menos contracciones y eso las volverá más duraderas e impermeables.

La formulación especial de Cemento Holcim Cuscatlán permite que se obtenga adherencia y trabajabilidad superiores en las mezclas frescas.

Por sus características de adherencia y trabajabilidad, es ideal para el pegamento de todo tipo de obra de mampostería, repellos, afinados, pegamento de tubos, construcción de aceras, entre otros.

c. Cemento para Uso Industrial

Figura 5: Cemento Holcim CESSA 5000 tipo I.



Fuente: www.holcim.com.sv

Holcim CESSA 5000 Tipo I es un cemento hidráulico sin adiciones, es decir que está compuesto únicamente de Clinker y yeso. El yeso permite que el fraguado (endurecimiento) de las mezclas permita la manipulación y colocación de las mezclas de cemento, ya que sin él, los concretos y morteros fraguarían excesivamente rápido y no podrían trabajarse.

Este cemento desarrolla resistencias a los 28 días arriba de 5000 psi, lo cual lo hace ideal cuando se requiere de estructuras con altas resistencias, que serán sometidas a grandes cargas.

Características

Debido a las altas resistencias del cemento Holcim CESSA 5000 TIPO I, éste es ideal para ser utilizado en concretos estructurales para la construcción de grandes

obras, tales como: puentes, pasos a desnivel, edificios, elementos de concreto pre y postensado, entre otras.

De igual forma, debido al desarrollo de altas resistencias a la compresión a edades tempranas, es utilizado para la fabricación de productos de concreto, tales como: bloques, tubos, pilas, adoquines y otros prefabricados.

d. Cemento para Uso en Pavimentos

Figura 6: Cemento Holcim CESSA PAV tipo HE.



Fuente: www.holcim.com.sv

Holcim CESSA PAV Tipo HE es un cemento hidráulico por desempeño, el cual posee la misma composición química del cemento Tipo I, pero con la adición de puzolana y filler en proporciones específicas en la molienda final.

Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4200 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para la fabricación de concretos estructurales para pavimentos.

Características

Debido a sus características de alta resistencia inicial, este cemento es principalmente adecuado para la construcción de pavimentos de concreto, estabilización de suelos y bases granulares.

e. Cemento para fabricar bloques, tejas, ladrillos entre otros.

Figura 7: Cemento Holcim CESSA BLOCK.



Fuente: www.holcim.com.sv

Holcim CESSA BLOCK es un cemento hidráulico que es recomendable para la fabricación de bloques, tejas, tubos, ladrillos, entre otros. Las características de fineza de este producto hacen que obtenga altas resistencias a edades tempranas. Este cemento alcanza resistencias mayores a los 4200 psi a los 28 días, por lo que es recomendado para la elaboración de prefabricados de concreto.

Características

Debido a sus características de alta resistencia a la compresión a edades tempranas, es recomendado para la fabricación de productos de concreto, tales como: pilas, bloques, ladrillos, tubos, adoquines, celosías, entre otros.

Por ser un cemento de alta resistencia inicial, puede ser utilizado en la construcción de obras de concreto, en donde se requiera retiro de moldes a edades tempranas, tal es el caso de viviendas de concreto reforzado, donde la reutilización del molde es vital en el proceso constructivo.

2.3.2 AGREGADO FINO (ARENA)

Los agregados finos llamados arenas o áridos, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento.

CLASIFICACIÓN DE LA ARENA SEGÚN SU PROCEDENCIA

De acuerdo con el origen de los agregados, según provengan de fuentes naturales o sean fabricados a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Agregados naturales

Son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y rocas naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.

Agregados artificiales: estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Por lo general son más ligeros o pesados que los ordinarios.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA ARENA

En general, la mayoría de agregados son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero o concreto, especialmente con el cemento; sin embargo, hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando

con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero, tales como las escorias de alto horno, los materiales de origen volcánico en los que hay sílice activo, y el ladrillo triturado, entre otros. Pero otros que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del mortero y su durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARENA

Granulometría

La granulometría está definida como la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico, que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. La medida de la cuantía de cada una de estas fracciones es lo que se conoce como granulometría.

La operación de separar una masa de agregado fino (arena) en fracciones de igual tamaño, consiste en hacer pasar éste a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben ajustarse a la norma **ASTM C144** “*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*” (**Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería**).

Además de determinar la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y de visualizarla por medio de un gráfico, que permite conocer que tan grueso o fino es, así como detectar deficiencias o excesos de un tamaño en particular; del análisis granulométrico se derivan algunos factores que constituyen una caracterización más de la distribución de tamaños, que posteriormente se utilizan como parámetros de diseño de una mezcla de concreto. A continuación se describen estos:

a. Módulo de finura

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie “estándar”, que cumplen la relación de 1 parte de cemento y 2 de arena, desde el tamiz No. 100 en adelante, hasta el máximo tamaño que se encuentre, dividido por 100.

El módulo de finura es un promedio logarítmico de la distribución de tamaños de partículas, ya que la serie de tamices se encuentra en una relación 1 de cemento y 2 de arena. En términos reales, un mismo valor de módulo de finura puede representar un número infinito de distribuciones granulométricas, por lo cual no se puede interpretar como una descripción de la granulometría de un agregado dado, sino, más bien, como un factor que indica de manera práctica el predominio de partículas finas o partículas gruesas dentro de la distribución granulométrica. En general, éste valor puede variar entre 0 y 10 o más (dependiendo del tamaño máximo presente).

En la medida en que se acerca a cero indica un agregado fino y en la medida que aumenta su valor indica que el agregado es más grueso. Su uso generalmente se ha centrado en la evaluación de “**grados de finura**” del agregado fino o arena, como se muestra en la **tabla 2**.

Tabla 2: Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.

MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2.00	Muy fino o extra fino
2.00 – 2.30	Fino
2.30 – 2.60	Ligeramente fino
2.60 – 2.90	Mediano
2.90 – 3.20	Ligeramente grueso
3.20 – 3.50	Grueso
Mayor que 3.50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Norma ASTM C 136 Método de ensayo estándar para Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Agregado fino.

b. Tamaño máximo

El tamaño máximo del agregado es otro factor que se deriva del análisis granulométrico y está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material.

En la práctica, lo que indica el tamaño máximo de un agregado es el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregados, el cual debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la estructura.

c. Tamaño máximo nominal

El tercer factor que se deriva del análisis granulométrico es el tamaño máximo nominal, que está definido como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea el 15% o más.

En la práctica, lo que indica el tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado. La mayor utilidad de este factor respecto al anterior estriba en que el tamaño máximo nominal define mejor el tamaño de las partículas más grandes de la masa de agregados en su fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo solo indica el tamaño de la partícula más grande que hay en la masa, la cual en algunos casos puede ser única.

Densidad o peso específico

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen, se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada.

Las partículas del agregado están conformadas por masa del agregado, vacíos que se comunican con la superficie, llamados poros permeables o saturables y vacíos

que no se comunican con la superficie, es decir que quedan en el interior del agregado, llamados poros impermeables o no saturables; de acuerdo con lo anterior se tienen tres densidades a saber:

- a. **Densidad Real:** Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables.

- b. **Densidad Nominal:** Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros permeables o saturables.

- c. **Densidad Aparente:** Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables (volumen aparente o absoluto).

Si la masa de agregado se determina con material seco tendríamos densidad aparente seca, pero si la masa del agregado se determina con material saturado y superficialmente seco (S.S.S.), tendríamos densidad aparente saturada.

De los tres tipos de densidades antes definidas, la **Densidad Aparente** es la que se emplea en el cálculo de mezclas, porque se parte de que el material primero se satura, es decir, todos los poros permeables de cada partícula quedan llenos de agua y el agua adicional a éste estado (agua libre), es la que reacciona con el cemento; si la densidad del agregado que se toma en el diseño es la aparente saturada, las masas que se calculen del agregado serán masas saturadas; pero si se toma para dosificación de mezclas, la densidad aparente seca, las masas que se determinen del agregado serán masas secas.

Porosidad y absorción

La porosidad de las partículas del agregado, es muy importante en el comportamiento de los agregados dentro del concreto o mortero, porque una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual no sólo afecta a las propiedades mecánicas como la adherencia y la resistencia a la compresión y flexión, sino también propiedades de durabilidad como la resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión.

La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua u otro líquido dentro de los agregados, según el tamaño de los poros, su continuidad (permeabilidad) y su volumen total. En la práctica, lo que se mide para cuantificar la influencia de la porosidad dentro del agregado es su capacidad de absorción, ya que las partículas del agregado pueden pasar por cuatro estados, a saber: seco, parcialmente saturado, saturado y superficialmente seco ó húmedo.

Según lo anterior, la capacidad de absorción de las partículas de agregado se puede determinar fácilmente por diferencia de pesos, entre el peso saturado y superficialmente seco y el peso seco, expresado como un porcentaje del peso seco.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde:

P_{ss} = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca.

P_s = Peso seco de la muestra.

Peso volumétrico

El peso volumétrico de un agregado, más comúnmente conocido como masa unitaria, está definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. De tal manera que al

colocar el agregado dentro del recipiente, se tendrá un acomodamiento de las partículas en que el menor volumen de espacios entre partícula y partícula se logra cuando se coloca la mayor cantidad posible de material, lo cual depende del tamaño, la granulometría, la forma y la textura del agregado.

Sanidad de los agregados

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos en volumen, debido a cambios en las condiciones ambientales como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado; los cuales afectan la durabilidad del concreto o mortero y pueden comprometer no solo su aspecto superficial (descascaramientos), sino también la estabilidad de una estructura (agrietamientos internos).

La capacidad de los agregados para soportar estos cambios desde luego depende de la procedencia, granulometría, forma, textura, porosidad y propiedades mecánicas de sus partículas.

Para tales casos, la norma ASTM C-88 ha estandarizado un proceso de secado al horno, mediante varios ciclos, en el cual el agregado que previamente se ha sumergido en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio, es sometido a la acción destructora del sulfato que le induce esfuerzos internos al cristalizarse.

AGUA PARA MORTERO

Debido a que el agua ocupa un papel preponderante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto o mortero; se pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener este vital elemento de la naturaleza, desde el punto de vista de la tecnología del concreto y del mortero.

El agua se puede definir como aquel componente del mortero, en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Para ello, se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

Agua de mezclado

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del concreto. La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable; para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el concreto queden trabajables.

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados, cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

De ahí, que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla.

La cantidad de agua es posiblemente un aspecto mal comprendido del mortero, probablemente debido a la confusión entre los requerimientos del mortero y del concreto. Los requerimientos de agua del mortero son bastantes diferentes de los del concreto en donde se requiere una baja relación A/C (agua/cemento).

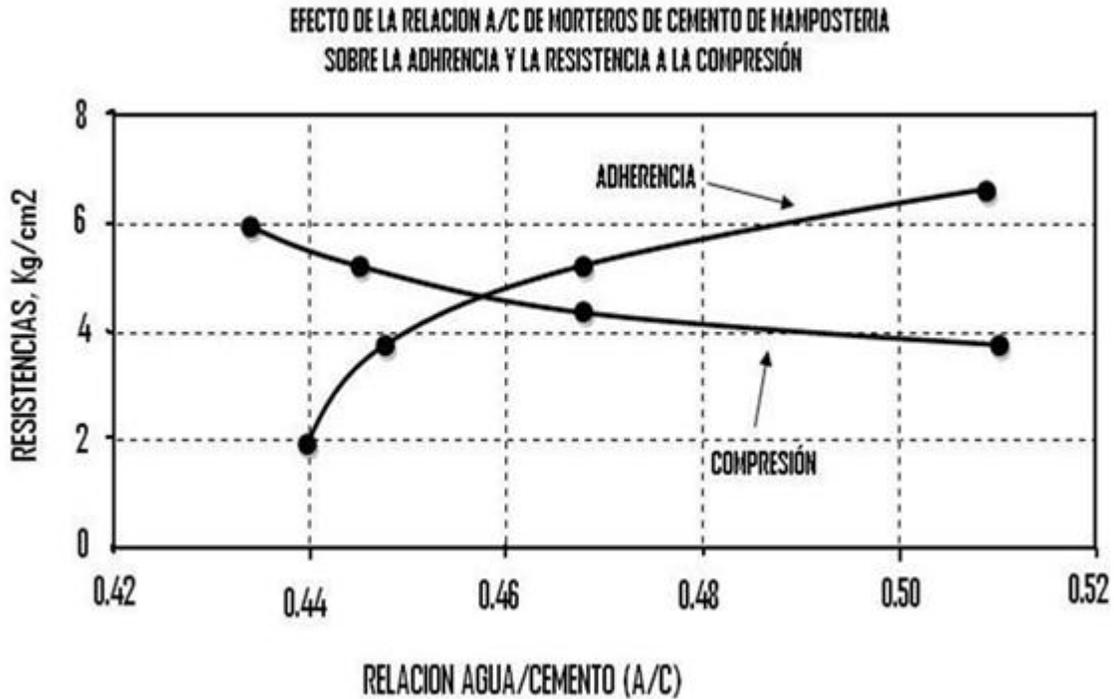
La cantidad de agua necesaria depende en primer lugar de los ingredientes del mortero. Deberá estar limpia y libre de elementos nocivos o sustancias que sean perjudiciales para el mortero o para el refuerzo. Usualmente el agua potable es aceptable.

Debido a que no toda la mezcla de mortero se utiliza en una sola operación, se hace necesaria una adición de agua para refrescar el mortero, recuperando la consistencia inicial. Esta adición dentro de un tiempo límite es permitida. A pesar de que la resistencia a la compresión del mortero se disminuye cuando se le ha adicionado agua, usualmente la adherencia se ve incrementada.

En la **FIGURA 8**, se muestra el efecto que produce la adición de agua sobre la resistencia a la compresión y la adherencia. En ellas se observa que una adición de agua se traduce en una mayor adherencia, pero con una menor resistencia. La adición de agua causa en el flujo de esos morteros incrementos progresivos de 100% a 135% y aumento en el contenido de aire de 11.8% a 13.5 %. Por esta razón el refrescado solo debe hacerse para sustituir el agua que se ha perdido por evaporación.

En algunas normas para morteros de mampostería, se especifica como requisito de mezclado que se debe usar la máxima cantidad de agua para producir una consistencia trabajable. La producción de morteros con alto contenido de agua mejora la trabajabilidad y la adherencia a expensas de la resistencia a la compresión, la durabilidad y a los cambios volumétricos. Los morteros con alto contenido de agua fluyen más fácilmente y permiten que las unidades de mampostería absorban más agua y que exista mayor cantidad de agua disponible para los procesos de hidratación.

Figura 8: Efecto que produce la adición de agua sobre la resistencia a la compresión y la adherencia en el mortero.



Fuente: Folleto Morteros hidráulicos, generalidades y selección. ISCYC.2002.p 7.

Agua de curado

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro para hidratar eficientemente el cemento.

En primer lugar, este suministro adicional depende de la humedad del ambiente, ya que la evaporación del agua libre de la pasta ocurre con tanta mayor rapidez cuando la humedad relativa del ambiente es menor.

En segundo lugar, el agua y el cemento al mezclarse ocupan un espacio inicial que permanece constante y que tiende a ser llenado gradualmente por los productos de hidratación (gel). Como éstos desarrollan un volumen que es dos veces mayor que el del cemento original, resulta que con relaciones agua-cemento demasiado bajas, puede no haber espacio suficiente en la pasta para acomodar todo el gel potencialmente desarrollable, y la completa hidratación del cemento no llega a producirse por esta limitación.

En tercer lugar, el agua químicamente combinada con el cemento (agua no evaporable) tiene una densidad mayor que el agua capilar. Esto significa que, en un momento dado, puede ser mayor el espacio que ha dejado libre en los poros capilares, que aquel con el que ha contribuido a formar el gel. Si no existe aportación de agua exterior para suplir este déficit, la hidratación se vuelve más lenta, e incluso se detiene.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA DE MEZCLADO Y CURADO

Por lo general, se recomienda que el agua sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor, puede usarse en mezclas de concreto o mortero. Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares, entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto o mortero. De otra parte, el agua que es buena para el concreto, no necesariamente es buena para beber.

De acuerdo con lo anterior, en la **Tabla 3** se presenta un resumen de las tolerancias máximas de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado de concretos o morteros.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 3: Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas y curado.

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA
Carbonatos de sodio y potasio	1,000 ppm
Cloruro de sodio	20,000 ppm
Cloruro, como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados)	1,000 ppm
Sulfato de sodio	10,000 ppm
Sulfato, como SO ₄	3,000 ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40,000 ppm
Sulfato de magnesio	25,000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%
Sales de hierro	40,000 ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10,000 ppm
pH	6.0 a 8.0
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.5%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1.2%
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2,000 ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35,000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable

Fuente: Libro Tecnología del concreto y del mortero, Sánchez de Guzmán, Diego. 2001. Pág. 63-64.

2.4 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS

Los morteros de albañilería poseen dos grupos de propiedades, unas para morteros en estado plástico y otras cuando el mortero está endurecido.

Las propiedades plásticas determinan la adaptabilidad de un mortero en la construcción (trabajabilidad y retención de agua). Las propiedades del mortero endurecido ayudan a determinar el comportamiento de la mampostería terminada, e incluye características como la adherencia, durabilidad, elasticidad y resistencia a la compresión.

2.4.1 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS EN ESTADO FRESCO

Cuando los morteros se encuentran en estado manejable, estos presentan ciertas características que definen su comportamiento e influyen en cómo reaccionará en estado endurecido. Por esto es importante conocerlas para utilizarlas como criterios de aceptación o rechazo.

TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad es la propiedad más importante de los morteros en estado plástico. Los morteros trabajables pueden ser esparcidos o extendidos fácilmente con una cuchara, dentro de las separaciones y hendiduras de las unidades de mampostería.

La trabajabilidad ayuda a los morteros a soportar las unidades de mampostería y rápidamente sobresale de las uniones cuando el albañil presiona una unidad para ser alineada. También es una combinación de varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia, las cuales pueden ser medidas mediante pruebas de laboratorio.

El albañil es quien mejor puede evaluar la trabajabilidad, mediante la respuesta que tenga el mortero al manejo con la pala o cuchara y la facilidad que proporcione para desplegarse o esparcirse sin derramarse.

La trabajabilidad es determinada también por la graduación de los agregados, la proporción de los materiales y contenido de aire, el ajuste final a la trabajabilidad depende del contenido de agua.

La capacidad de un mortero para retener satisfactoriamente la trabajabilidad bajo la influencia de la succión de las unidades de mampostería y el índice de evaporación depende de la retención de agua y de las características de fraguado.

Una buena trabajabilidad es esencial para una buena adherencia entre las unidades, y es la propiedad con más influencia en los morteros en estado endurecido o sólido.

FLUIDEZ

La fluidez inicial es una propiedad medida en el laboratorio, e indica el porcentaje de incremento del diámetro de la base de un cono de mortero truncado, cuando es puesto en una tabla de fluidez y mecánicamente levantado 12.70 mm (0.5 pulg) y soltado 25 veces en 15 segundos. Este ensayo se detalla en las normas ASTM C-230, C-305, Y C-109.

Los morteros utilizados en construcción normalmente requieren un valor de fluidez mayor que los morteros de laboratorio, y consecuentemente poseen mayor cantidad de agua. Morteros estándar se hacen con una fluidez de 110 ± 5 .

Con el fin de producir una trabajabilidad satisfactoria para el albañil, los morteros de obra requieren mayor fluidez, y pueden llegar a mantener una fluidez entre 130 a 150%, o aún más, dependiendo de sus componentes.

La razón por la que las normas establecen una fluidez más baja, para condiciones de laboratorio, es porque indican con más aproximación su resistencia a compresión en

la mampostería. Esto es debido a que muchas de las unidades de mampostería absorben el agua de los morteros tan pronto como surge el contacto.

La fluidez de un mortero es determinante para una buena adherencia. Se sabe, que el esfuerzo de adherencia aumenta con la fluidez, hasta un punto en el que el sangrado o exudación empieza. Es decir, hasta que el agua emigre a través del mortero hacia la superficie.

RETENCIÓN DE AGUA

La retención de agua es la medida de la habilidad de un mortero, bajo condiciones de succión y evaporación, para retener el agua mezclada. Esta propiedad del mortero provee al albañil tiempo para ajustar las unidades de mampostería, sin que el mortero alcance su fraguado.

La norma ASTM C-91 (Standard Specification for Mansory Cement) define la retención de agua como la razón o cambio de fluidez de un mortero, después de ser sometido a una presión de succión constante de 254 mm de Hg, en un tiempo de un minuto.

La retención de agua aumenta con altos contenidos de cal o contenidos de aire, adición de agregados finos (dentro de las graduaciones permisibles), o el uso de sustancias retardantes del fraguado.

Esta propiedad de los morteros es muy importante, ya que si el agua en la mezcla del mortero se evapora o es absorbida por las unidades de mampostería, la adherencia entre la pieza y mortero es reducida. Las mayores resistencias a la adherencia se logran con mezclas húmedas de buena trabajabilidad.

El reacondicionamiento, o sea agregar más agua y mezclar nuevamente, es una práctica aceptable para compensar el agua perdida por el mortero. Las normas ASTM requieren que todo mortero sea usado antes de 2.5 horas, con opción a

reacondicionarse tantas veces como sea necesario dentro de ese lapso. Los ensayos han mostrado que la reducción en la resistencia a compresión, debido al agua adicional es mínima, si el reacondicionamiento ocurre antes de 2.5 horas de mezclado por primera vez. El reacondicionamiento no significa agregar agua en la superficie sino hacer una cavidad en la masa de mortero, agregar el agua y mezclar vigorosamente.

VELOCIDAD DE ENDURECIMIENTO

El endurecimiento del mortero plástico se refiere a características de fraguado. El fraguado inicial, tal como es medido en laboratorio para materiales cementantes, indica el grado de hidratación o las características de fraguado de la pasta de cemento. Un endurecimiento rápido del mortero antes de su uso es perjudicial. Este se rigidiza a medida que pierde agua y se endurece mediante el fraguado normal del cemento. Esta transformación puede acelerarse con calor o retardarse con frío. Una velocidad consistente de rigidización le ayuda al mampostero en el acabado de juntas. Además, las características de rigidización son afectadas por los ingredientes y las proporciones de mezcla, condiciones ambientales, efectos de los aditivos químicos y el tiempo de mezcla.

CONTENIDO DE AIRE

El aire incluido en un mortero, puede producirse por efectos mecánicos o por medio de la aplicación de aditivos incorporadores de aire. A medida que aumenta el contenido en aire (12-18%, según ASTM C-270), mejora la trabajabilidad y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo, de forma contraria, disminuye la resistencia mecánica, la adherencia y la impermeabilidad. Existen varios antecedentes para probar que la adherencia disminuye cuando aumenta el contenido de aire.

2.4.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO

ADHERENCIA

La adherencia es probablemente la más importante propiedad de los morteros, especialmente porque su función primordial es adherir unidades de mampostería.

El termino general “Adherencia” se refiere a una propiedad específica que define el grado de contacto entre el mortero y la unidad de mampostería, y puede evaluarse con base en lo siguiente:

- a) La resistencia a la tensión o la fuerza necesaria para separar las unidades.
- b) La resistencia al deslizamiento por corte entre mortero-unidades.
- c) La resistencia a la separación mortero-unidad por flexión.

Las determinaciones usuales en las normas, son las de adherencia por tensión y de adherencia por flexión.

Una pobre adherencia contribuye en la penetración de humedad a través de las áreas. Los morteros deben desarrollar una buena adherencia para poder soportar los esfuerzos estructurales, sísmicos, por viento, por cambios de temperatura o contracción de los materiales.

Es también, la más inconstante e impredecible. Debido a las muchas variables que afectan la adherencia, es difícil determinar un experimento de laboratorio que reproduzca las condiciones en construcción. Estas variables incluyen: contenido de aire, tipo de agregados, cantidad de materiales cementantes, tiempo de esparcimiento del mortero y la colocación de la unidad, características de las unidades de mampostería, retención de agua del mortero, presión aplicada a la unidad durante su colocado y sisado, textura de las unidades y las condiciones de curado.

EXTENSIBILIDAD Y FLUJO PLÁSTICO

Extensibilidad es la máxima unidad de deformación que puede sufrir un mortero antes de llegar a la ruptura. Refleja la máxima elongación posible bajo esfuerzos de tensión.

Los morteros de baja resistencia, los cuales poseen un bajo módulo de ruptura, exhiben grandes flujos plásticos, más que los de alto módulo de ruptura a contenidos iguales de agregados. Por esta razón los morteros de alta resistencia no necesariamente deben ser usados. El flujo plástico o desplazamiento, impartirá flexibilidad a la mampostería, permitiendo ligeros movimientos sin aparentes agrietamientos.

RETRACCIÓN

Se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en pastas con una alta relación agua-cemento. El agregado soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de muchos vientos, el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. Para evitar la retracción, es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del mortero, principalmente cuando se le utiliza como componente de elementos de naturaleza estructural, por ejemplo como mortero de junta en albañilerías, para relleno de albañilerías armadas o como mortero proyectado. Al utilizarlo en estas

condiciones, el mortero queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre el elemento estructural, si estas sobrepasan su capacidad resistente se producirán fisuras o fracturas, que pueden llegar a afectar la seguridad de la estructura. Por este motivo, el mortero deberá tener una resistencia tal que las tensiones producidas no sobrepasen su capacidad resistente, lo cual hace necesario conocer esa característica.

De las resistencias mecánicas, la más estudiada ha sido la resistencia a compresión. Esta se mide porque el mortero de pega debe soportar las sucesivas hiladas de ladrillos, las cuales deben desarrollarse con relativa rapidez para permitir de esta forma el avance de la construcción.

Con la resistencia a la compresión se pueden relacionar otras características resistentes tales como tracción, corte y adherencia.

Un criterio común que existe respecto a la resistencia mecánica del mortero de junta para unidades de albañilería sometidas a compresión axial, es que tenga una resistencia semejante a la de las unidades, ya que no se obtendría ninguna ventaja si la resistencia del mortero es muy elevada con respecto a los elementos, puesto que la falla se produciría en ellos, aumentando además el costo de la obra.

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Siendo éstas un indicio de las resistencias a tensiones de corte y a tensiones de tracción.

La resistencia a la compresión de los morteros es algunas veces usada como criterio para seleccionar el tipo de mortero, debido a su fácil medición y a su relación con otras propiedades como la resistencia a la tensión.

La resistencia a la compresión depende en gran manera del contenido de cemento, de la cantidad de agua utilizada y, en menor grado, del tipo de agregado utilizado.

La resistencia a compresión aumenta con el incremento de cemento, pero disminuye con el incremento de cal, arena, agua o contenido de aire. Por consiguiente, es

deseable sacrificar parte de la resistencia a compresión del mortero, con el fin de mejorar la adherencia.

DURABILIDAD

La durabilidad del mortero es la resistencia a los agentes externos, como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.

PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua.

Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad de agua. Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto, es que la junta de mortero no es tan buena, y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración.

EFLORESCENCIA

La eflorescencia es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared y la cristalización de las sales solubles. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto con ella, se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS

En términos generales se pueden distinguir dos familias de mortero. Aéreos e Hidráulicos.

Los Morteros Aéreos son aquellos que endurecen bajo la influencia del aire, al perder el agua por evaporación, fraguando lentamente por un proceso de carbonatación.

Los morteros Hidráulicos también llamados acuáticos, son aquellos que endurecen bajo la acción del agua ya que los cementos utilizados poseen componentes que se obtienen por calcinación de impurificadas con sílices y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS ATENDIENDO A SU CEMENTANTE

Atendiendo al tipo de agente cementante los morteros se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Morteros Calcáreos
- b) Morteros de Cemento

MORTEROS CALCÁREOS

Los morteros calcáreos son aquellos en los cuales el aglutinante puede ser cal blanca o dolomítica (cal gris). En este tipo de mortero, la función principal de la arena es evitar el agrietamiento y la contracción, debido al lento endurecimiento de la cal (lenta velocidad de fraguado). Debido a lo anterior, se recomienda que la arena posea partículas de forma angulosa y debe estar libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla; las características principales de esta clase de mortero son:

- a) Es el tipo de mortero más manejable de todos los conocidos, debido a que la cal es un plastificante excelente.

- b) No desarrolla altas resistencias tempranas, debido a la baja velocidad de endurecimiento.

MORTEROS DE CEMENTO

Los morteros de cemento son aquellos que se elaboran utilizando cemento Portland u otro tipo de cemento, como agentes aglutinantes. Estos tipos de cementos son elaborados bajo las normas:

- a) ASTM C 150
- b) ASTM C 1157
- c) ASTM C 91

Los morteros elaborados con los cementos tipo ASTM C 150 ó C 1157 generalmente carecen de plasticidad y poseen baja capacidad para retener agua. Así mismo, este tipo de mortero debe usarse cuando se requieran altas resistencias tempranas y finales, y cuando se tiene experiencia en su elaboración y colocación.

Su comportamiento se ve influenciado por la proporción cemento: arena (determina la trabajabilidad, la resistencia y el comportamiento al secado), la granulometría, la forma y textura de la arena (determina el acomodamiento de las partículas).

2.5.2 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN EL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA

La clasificación del mortero en base al módulo de finura de la arena se presenta en la tabla 4.

Tabla 4: Clasificación de los morteros en Función del Módulo de Finura de la arena.

TIPO DE MORTERO	MODULO DE FINURA	USOS
Morteros finos	1.8 – 2.3	Repellos y cielo raso
Morteros medios	2.3 – 2.7	Pegamento de mampostería
Morteros gruesos	2.7 – 3.2	Pisos, rellenos para mampostería

Fuente: Folleto Morteros hidráulicos, generalidades y selección. ISCYC.2002.p 22.

2.5.3 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN LA FLUIDEZ

La clasificación de los morteros en función de la fluidez, se presenta en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Clasificación de los Morteros en función de la Fluidez.

Consistencia	Fluidez	Condiciones de colocación	Ejemplos de usos	Ejemplos de sistemas de colocación
Dura (seca)	80 - 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación y pisos	Proyección neumática con vibradores de pared
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración		Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 – 150	Sin vibración		Manual, bombeo, inyección

Fuente: Folleto Morteros hidráulicos, generalidades y selección. ISCYC.2002.p 22.

2.5.4 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO SEGÚN EL TIEMPO DE FRAGUADO

La **Tabla 6**, clasifica los morteros en función del tiempo de fraguado.

Tabla 6: Clasificación de los Morteros en función del tiempo de fraguado.

Tipo de aditivo	Desviación de los tiempos de fraguado con respecto al mortero de referencia (sin aditivo)	Desviación de la resistencia	Tipo de fraguado
Retardante	De 1 a 3 horas después	Hasta 25% mas	Lento
Reductor de agua	No más temprano de 1 hora, ni más tarde de 1.5 horas	100% a 28 días	Normal
Acelerante	De 1 hora a 3.5 horas antes	Hasta 25% más	Rápido

Fuente: Folleto Morteros hidráulicos, generalidades y selección. ISCYC.2002.p 23.

2.5.5 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO POR PROPIEDADES Y PROPORCIONES

La norma ASTM C 270 clasifica los morteros atendiendo a sus propiedades (resistencia) y las proporciones en que se deben combinar los componentes del mortero. **Las TABLAS 7 y 8** muestran las clasificaciones antes mencionadas.

Tabla 7: Especificación por Proporción (ASTM C 270).

Especificación por Proporción (ASTM C 270)						
Mortero	Tipo	Cemento Portland o mezcla de cemento	Proporciones por volumen (materiales cementantes)			Relación de agregados (Medida en condición húmeda y suelta)
			Mortero de cemento	Cemento de mampostería	Cal hidratada o apagada	
			M S N	M S N		
Cemento y Cal	M	1	-- -- --	-- -- --	¼	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	-- -- --	-- -- --	de ¼ a ½	
	N	1	-- -- --	-- -- --	de ½ a 1¼	
	O	1	-- -- --	-- -- --	de 1¼ a 2½	
Mortero de cemento	M	1	-- -- --	-- -- 1	--	
	M	--	1 -- --	-- -- --	--	
	S	½	-- -- --	-- -- 1	--	
	S	--	-- 1 --	-- -- --	--	
	N	--	-- -- --	-- -- 1	--	
Cemento de mampostería	O	--	-- -- --	-- -- 1	--	
	M	1	-- -- --	-- -- 1	--	
	M	-	-- -- --	1 -- --	--	
	S	½	-- -- --	-- -- 1	--	
	S	-	-- -- --	-- 1 --	--	
	N	-	-- -- --	-- -- 1	--	
O	-	-- -- --	-- -- 1	--		

Fuente: norma ASTM C270-02, tabla 1. P 2

Tabla 8: Especificación por Propiedades (ASTM C270).

Especificación por Propiedades (ASTM C 270)^A					
Mortero	Tipo	Resistencia mínima promedio a compresión a 28 días kg/cm ² (MPa).	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%) ^B	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
Cemento-cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 ^C	
	O	25 (2.4)	75	14 ^C	
Mortero de cemento	M	176 (17.2)	75	12	
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 ^C	
	O	25 (2.4)	75	14 ^C	
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)	75	18	
	S	127 (12.4)	75	18	
	N	53 (5.2)	75	20 ^D	
	O	25 (2.4)	75	20 ^D	

Fuente: norma ASTM C270-02, Tabla 2. P 3.

2.6 USOS DEL MORTERO

El mortero tiene una amplia gama de aplicaciones, puede ser empleado para nivelar pisos, proteger taludes, recubrir elementos estructurales, pero el mayor consumo está en la construcción de mampostería, razón por la cual la tecnología del mortero se ha enfocado principalmente en esta rama. Vale la pena señalar que un mortero de mampostería se puede usar satisfactoriamente para otros propósitos, como las aplicaciones señaladas y que los ensayos para hacer el control, son aplicables a cualquier clase de mortero. Así los distintos usos del mortero pueden ser:

- a) Pegamento de ladrillos para pared y piezas de mampostería.

^A Para mortero preparado en laboratorio.

^B El contenido de aire del mortero con cemento Portland-cal, sin incorporador de aire, es generalmente menos del 8%.

^C Cuando el refuerzo estructural se incorpora en el mortero de cemento-cal o mortero de cemento, el contenido de aire máximo será del 12%.

^D Cuando el refuerzo estructural se ha incorporado en el mortero de cemento para mampostería, el contenido máximo de aire será de 18%.

- b) Repellos de pared.
- c) Revestimiento de taludes.
- d) Acabados arquitectónicos.
- e) Elaboración de tabiques para muros de contención.
- f) Rellenos de anclajes.
- g) Sellado de grietas y agujeros.
- h) Construcción de pavimentos tipo empedrado-acuñado.

2.7 CÓMO ESPECIFICAR EL MORTERO

En una unidad de mampostería, el mortero debe mantener juntos y fuertemente unidos todos aquellos elementos que la conforman. Si esto no se cumple, la obra de mampostería puede considerarse como no satisfactoria. Con ladrillos de tamaño convencional y juntas de 9 mm, el 20% de la pared de ladrillo está compuesta solamente de mortero. Por cada metro cuchareado de pared hay más o menos 4.3 metros lineales de contacto mortero-ladrillo y unos 4.2 metros cuadrados de área de contacto entre mortero y ladrillo. Es en esta interface entre los ladrillos y el mortero, muchas de las fugas y goteos ocurren en las paredes de ladrillo. El uso de ladrillos y morteros sanos y libres de grietas, no es suficiente para impedir las infiltraciones, pero con la eliminación de micro grietas entre los ladrillos y el mortero si se logra. Estas grietas se evitan mediante el uso de un mortero que mantenga los ladrillos unidos tenazmente. Para evitar la penetración del agua, el mortero debe adherirse totalmente al ladrillo. La selección del mortero debe ser apropiada para las piezas de mampostería que van a ser utilizadas. No existe ningún mortero milagroso que se adhiera bien en toda aplicación con todo tipo de piezas de mampostería.

La norma ASTM C 270 presenta las propiedades y proporciones para cuatro tipos genéricos de mortero. Las proporciones son simplemente las recetas de preparación de los distintos tipos de mortero. Pueden usarse con cemento Portland o con cemento de mampostería. Las proporciones para los cuatro tipos de morteros se detallaron en la **Tabla 7**.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Las especificaciones de las propiedades de cada tipo de mortero se presentaron en la **Tabla 8**. Bajo estas especificaciones, cada tipo de mortero debe tener una resistencia mínima a la compresión, mínima retención de agua y máximo contenido de aire. Estas especificaciones de propiedades se refieren solamente a los morteros hechos en laboratorio.

Los cuatro tipos de mortero pueden ser especificados por proporción o por propiedades. La pregunta que surge es ¿Cuál es el tipo de mortero que debe escoger el diseñador? Uno de los apéndices de la norma ASTM C 270, recomienda los tipos de mortero a usar según el tipo de materiales de la obra, esto se muestra en la **Tabla 9**.

La nota 4 del ASTM C 270 da más consejos al respecto: “El tipo de mortero debe correlacionarse con las piezas de mampostería”. Las piezas de mampostería de gran tasa inicial de absorción son de mejor compatibilidad con morteros de gran retención de agua. En otras palabras, se deben especificar morteros de gran retención de agua para ladrillos de mucha absorción. Generalmente esto significa un mortero con un alto contenido de cal.

Tabla 9: Guía para Selección de Morteros de Mampostería (ASTM C270)

Guía para Seleccionar Morteros de Mampostería (ASTM C 270) (A5)			
Localización	Segmento constructivo	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, sobre el terreno	Paredes de carga	N	S ó M
	Paredes sin carga	O ^B	N ó S
	Parapetos	N	S
Exterior, bajo el terreno	Muros de cimentación	S ^C	M ó N
	Muros de contención Pozos, descargas de aguas negras, pavimentos, aceras y patios		
Interior	Paredes de carga	N	S ó M
	Divisiones sin carga	O	N

Fuente: norma ASTM C270-02, Tabla 2. P 11.

^A Esta tabla no presenta usos especializados para morteros, como chimeneas, mampostería reforzada y morteros resistentes a ácidos.

^B El mortero tipo O es recomendado para utilizarlo donde la mampostería no esté sometida a congelación cuando esté saturada o sujeta a fuertes vientos y otras cargas laterales. Los tipos N o S deben ser usados en estos casos.

^C La mampostería expuesta a la intemperie en superficies horizontales es extremadamente vulnerable. El mortero para esta mampostería debe ser seleccionado muy cuidadosamente.

2.8 LIMITANTE DE LA NORMA ASTM C 270

La norma ASTM C 270 tiene limitaciones, ya que no puede utilizarse para determinar la resistencia a la compresión del mortero a través de ensayos de campo, sólo es aplicada para ensayos en el laboratorio.

¿Cómo puede entonces, el diseñador, conocer si el mortero cumplirá los requisitos de resistencia a la compresión en la obra?

El diseñador puede llevar a cabo el ensayo de resistencia a la compresión del mortero, de acuerdo con la norma ASTM C 780 “Método Estándar para la evaluación antes y durante la construcción de morteros para mampostería sencilla o reforzada”.

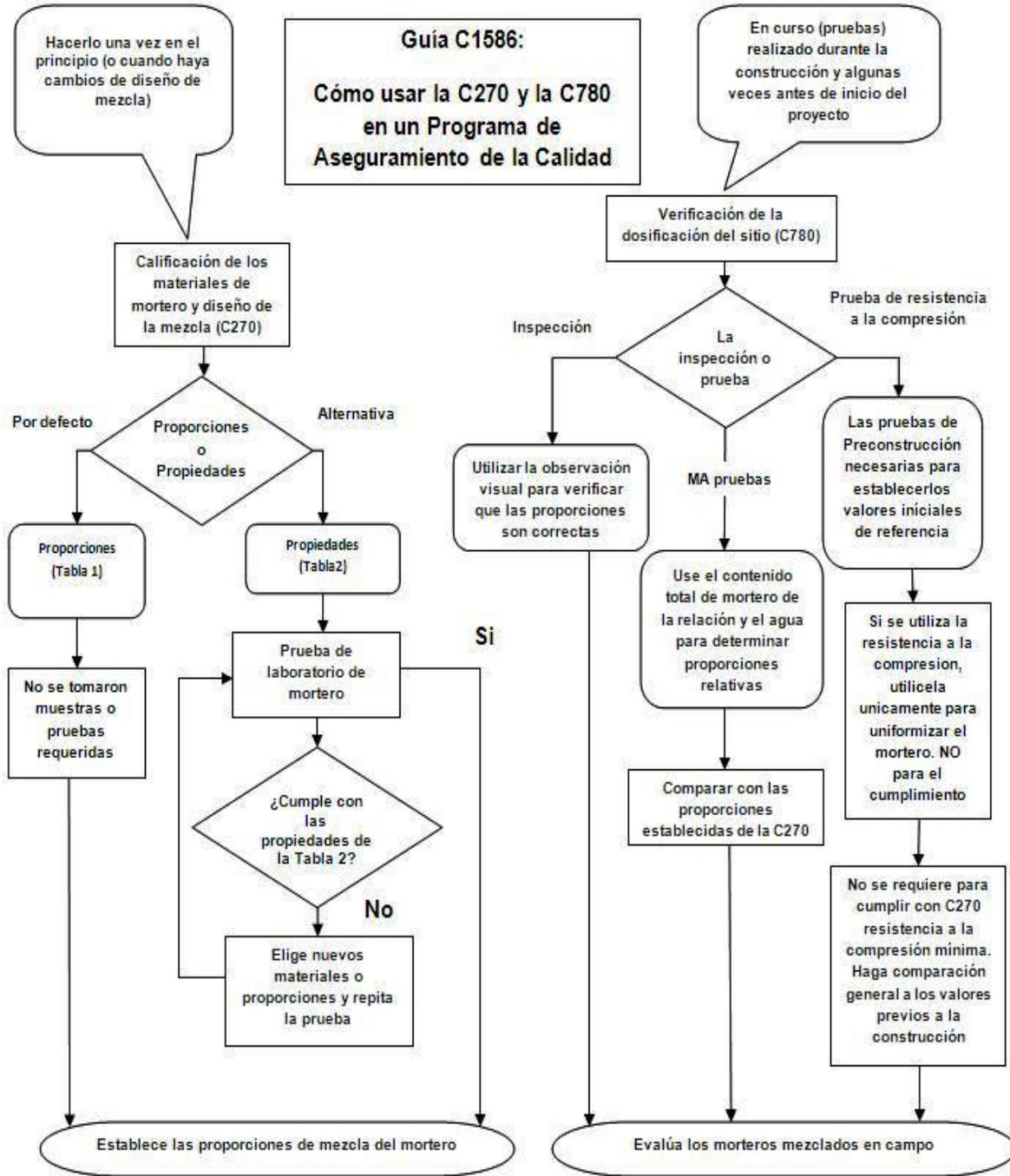
El diseñador puede solicitar el ensayo y hacerlo, debe establecer ciertos valores mínimos. La norma ASTM C780 describe como hacer los ensayos, pero no establece los resultados considerados como aceptables. Es un hecho, la norma C 780 establece que los resultados obtenidos por este método no tienen por qué cumplir con el requisito de resistencia a la compresión dado por la especificación por propiedades de la norma ASTM C 270. En otras palabras si se ensaya el mortero con la norma C 780, éste puede ser aceptable aunque no cumpla con la norma C 270. Hay que recordar que las especificaciones por propiedades de la norma C 270 son solamente para morteros hechos en laboratorio. Las resistencias de los morteros hechos en obra, generalmente son más bajas que las de morteros hechos en laboratorio. Debido a que los morteros mezclados en el sitio tienen una relación Agua/Cemento (A/C) mayor.

En la **figura 9** se muestra cómo aplicar conjuntamente la norma ASTM C270 y C780, en un programa de aseguramiento de la calidad en la obra.

Se puede utilizar la norma C 270 para especificar el mortero requerido y puede usar la norma C 780 para ensayar el mortero hecho en la obra. Pero, aun así, el diseñador no sabrá si el mortero tendrá un comportamiento correcto en la pared terminada. Ni

la norma C 270, ni la C 780 especifican el mortero con base en el tipo de piezas de mampostería a utilizar.

Figura 9: Cómo utilizar la norma C270 y la C780.



Fuentes: http://www.cement.org/masonry/compressive_strength.asp (2 of 3) 3/9/2007 8:36:34 AM

2.9 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO

La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad que tiene el mortero de soportar una fuerza impuesta. Como la resistencia a la compresión está influenciada por la hidratación del cemento, y ésta a su vez determina las propiedades físicas del mortero endurecido, es posible mediante los resultados de resistencia inferir otras propiedades.

Una cualidad como ésta, algunas veces es usada como el criterio principal para la selección del tipo de mortero, esto debido a que la resistencia a la compresión es relativamente fácil de medir y comúnmente hace relación a otras propiedades como la adherencia, resistencia a la tensión y la absorción. La resistencia a la compresión del mortero es superior a la resistencia de adherencia, entre el mortero y la unidad de mampostería.

La resistencia depende mucho del contenido de cemento y de la relación agua-cemento, esta crece con el aumento del contenido de cemento y disminuye con el aumento de cal, arena, agua o contenido de aire. El refrescado está asociado con la disminución de la resistencia a la compresión del mortero. La reducción de resistencia aumenta a mayor adición de agua y mayor tiempo entre el mezclado y el refrescado. En la mayoría de los casos es deseable sacrificar un poco la resistencia a la compresión del mortero, a favor del aumento de la adherencia, consecuentemente, se recomienda el refrescado dentro de límites de tiempo razonables para hacer mayor la adherencia.

Hay dos tipos de pruebas para determinar la resistencia a la compresión del mortero, una es de carácter destructivo y la otra de carácter no destructivo.

2.9.1 PRUEBA DESTRUCTIVA (COMPRESIÓN DE CILINDROS Y CUBOS)

En las pruebas de carácter destructivo la resistencia a la compresión, se mide rompiendo probetas cilíndricas o cúbicas de mortero en una máquina de ensayos de compresión, como se muestra en la **figura 10**, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga.

El ensayo de resistencia a la compresión de cilindros y cubos permite establecer las características de desarrollo de la resistencia del mortero. Las medidas dependen tanto del contenido de agua en el mortero, en el momento del muestreo, como de otros factores y reflejan la resistencia general que podría ser obtenida por el mortero en la mampostería. Sin embargo, el valor medido no debe ser considerado como representativo del valor real de la resistencia del mortero dentro de la mampostería.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros o cubos moldeados, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del mortero o para estimar la resistencia de éste ya colocado en la mampostería.

Figura 10: Especímen cilíndrico sometido a compresión.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación.

Por último es importante anotar que la resistencia a la compresión obtenida en cilindros y cubos evaluados en campo, refleja la resistencia aproximada del mortero, ya que es más probable que la adición de agua sea mayor en condiciones de servicio que en condiciones controladas de laboratorio.

2.9.2 PRUEBA NO DESTRUCTIVA (VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO)

Este es un ensayo no destructivo que tiene como objetivos principales los siguientes puntos:

- a) Verificar la homogeneidad, es decir, la uniformidad y calidad relativa del mortero.
- b) Detectar las fallas internas, es decir, la presencia de vacíos, introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras, y otras imperfecciones.
- c) Monitorear las variaciones de las propiedades del mortero a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio.

Un pulso de vibraciones longitudinales es producido por un transductor electroacústico, puesto en contacto con una de las superficies del elemento de concreto o mortero bajo estudio. Luego de atravesar una longitud conocida (L) en el mortero, el pulso de las vibraciones es convertido en una señal electroacústica por un segundo transductor. Circuitos electrónicos permiten medir el tiempo de tránsito del pulso (T).

La velocidad del pulso (V) expresada en km/s o en m/s viene dada por:

$$V = \frac{L}{T}$$

Donde:

L = longitud de la trayectoria.

T = tiempo que requiere el pulso para atravesar tal longitud.

La calidad del mortero se especifica generalmente en términos de su resistencia mecánica, por esta razón a veces es de interés usar pulsos ultrasónicos para estimar dicha resistencia.

La relación entre la velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia, se ve afectada por diversos factores entre los cuales se cuentan: la edad del mortero, las condiciones de curado, las condiciones de humedad, las proporciones de la mezcla, el tipo de agregado y el tipo de cemento. Si se requiere estimar la resistencia es necesario, por lo tanto, establecer la correlación entre resistencia y velocidad del pulso, para un mortero en particular que esté siendo investigado.

Dicha correlación debe establecerse de manera experimental mediante el ensayo de un número adecuado de especímenes, que abarque el rango de resistencias esperado y que proporcione confiabilidad estadística. La confianza que se puede atribuir a los resultados depende del número de muestras ensayadas. Es posible encontrar una correlación entre velocidad del pulso ultrasónico y la resistencia de cilindros moldeados o de núcleos extraídos de la estructura de concreto, llevando a cabo un estudio sobre la estructura completa o una parte de ella. La confiabilidad de la correlación depende, en gran medida, del grado en que los especímenes representen la estructura a ser evaluada. La correlación más apropiada se obtiene de ensayos en los que la velocidad del pulso y la resistencia se miden paralelamente en toda una estructura o un sector de ella. A veces es más conveniente establecer la correlación a través de especímenes cilíndricos, a los que luego del ensayo de velocidad de pulso se les determina la resistencia a compresión.

APARATOS DE MEDICIÓN

Los aparatos consisten, esencialmente, de un generador eléctrico de pulsos, un par de transductores, cables coaxiales que deben permitir la conexión perfecta de los transductores al circuito generador-receptor, un amplificador y un controlador electrónico de tiempo, que permite medir el intervalo de tiempo entre la salida de un pulso del transductor emisor y la llegada al transductor receptor.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL PULSO ULTRAÓNICO

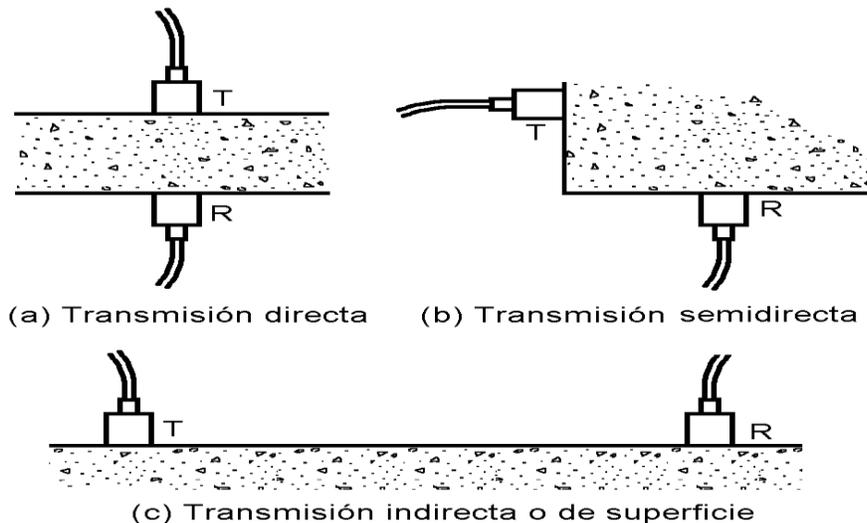
Instalación de los transductores

El transductor receptor, detecta la llegada del componente del pulso que llega primero. Este es generalmente el frente de entrada de la vibración longitudinal.

Si bien la dirección en la cual la máxima energía es propagada, forma ángulos rectos con la cara del transductor transmisor, es posible detectar pulsos que han viajado a través del concreto en cualquier otra dirección. Es factible, por lo tanto, realizar mediciones de velocidad de pulso colocando los transductores sobre:

- a) Caras opuestas (transmisión directa).
- b) Caras adyacentes (transmisión semidirecta).
- c) La misma cara (transmisión indirecta o de superficie).

Figura 11: Métodos de propagación y recepción de pulsos ultrasónicos.



Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC 4325) Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto, 1997, p 7.

Estas tres formas de instalación de los transductores se muestran en la **Figura 11**. El literal (a) muestra los transductores enfrentados directamente uno al otro, sobre caras opuestas del mortero. Sin embargo es necesario algunas veces colocar los transductores en caras opuestas, pero no directamente enfrentados. Tal tipo de instalación se conoce como transmisión semidirecta.

a) Determinación de la velocidad del pulso en la transmisión directa

Previo a la realización de la prueba de pulso ultrasónico, se deberá verificar que los especímenes de mortero a ser ensayados, tengan la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y carbonatación. En el caso de que la superficie no sea suficientemente lisa, deberá regularizarse a través de procedimientos mecánicos o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica, con un espesor mínimo para no interferir la medida, y facilitar el acoplamiento de los transductores.

Siempre que sea posible debe preferirse la transmisión directa, ya que en este caso la energía entre transductores está en su máximo y la precisión de la medición depende solamente de la exactitud con que se mida la longitud de la trayectoria. El material de acople (vaselina o gel) debe extenderse formando una capa fina que permita la correcta transmisión, sin afectar el resultado por efecto de la diferente velocidad del pulso a través del mortero y del material de acople.

b) Determinación de la velocidad del pulso en la transmisión semidirecta

La transmisión semidirecta tiene una sensibilidad intermedia, respecto a los otros tipos de instalación y, aunque se presenta una cierta reducción en la exactitud de la medición de la longitud de la trayectoria, se ha determinado que es suficientemente preciso tomar esta longitud como la distancia entre centros de las caras de los transductores. Exceptuando lo anterior, esta instalación es similar a la transmisión directa.

c) Determinación de la velocidad del pulso por transmisión indirecta o de superficie

La determinación indirecta debe usarse cuando sólo una cara del concreto es accesible, cuando se quiere determinar la profundidad de una grieta en la superficie o cuando la calidad de la superficie, en relación con la del conjunto, sea de interés.

Este tipo de transmisión es la de menor sensibilidad y para una longitud de trayectoria dada, produce en el transductor receptor una señal que tiene una amplitud de sólo el 2 % ó 3 % de la que se produce por transmisión directa.

Recomendaciones a tomar en cuenta

1. Para asegurar que los pulsos ultrasónicos generados en el transductor emisor pasan a través del mortero y son luego detectados por el transductor receptor, es necesario realizar un acople acústico adecuado entre el mortero y las caras de cada uno de los transductores en contacto con él. En la mayoría de las superficies del mortero o del concreto, el acabado es suficientemente liso para asegurar un buen contacto acústico, mediante el uso de un medio de acople y presionando suficientemente el transductor contra la superficie del mortero. Los medios de acople son: vaselina, grasa, jabón blando o una pasta de caolín/glicerol. Es muy importante controlar que sólo una fina capa de material de acople separe la superficie del concreto del transductor en contacto. Por esta razón, se deben hacer repeticiones en las lecturas del tiempo de tránsito, hasta que determine un valor mínimo de velocidad del pulso, que indique que el medio de acople fue aplicado en una capa delgada.
2. Cuando la superficie de mortero sea muy rugosa y dispareja, se debe proceder a alisar y nivelar el área donde el transductor se va a aplicar. Debe asegurarse una muy buena adherencia entre estos materiales y el mortero, para garantizar una correcta transmisión del pulso a través del concreto en ensayo. La capa de material de resane debe ser tan delgada como sea posible. Si es necesario hacer un relleno considerable, debe entonces tenerse en cuenta la velocidad del pulso a través de la capa de material de resane.
3. Los resultados obtenidos con esta prueba indican que a mayor porcentaje de vacíos existe menor velocidad de pulso ultrasónico. Las ondas ultrasónicas viajan más lentamente en el vacío que en un material sólido. Esto se observa comúnmente en materiales porosos.

CAPÍTULO III: PRUEBAS A MATERIALES Y MORTERO

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo en primer lugar se presenta de una manera ordenada los procedimientos seguidos para la evaluación de los materiales utilizados en la elaboración de mortero según normativa ASTM, centrándose específicamente la mayoría de pruebas en la determinación de la calidad de la arena, ya que este parámetro es un punto fundamental de la investigación.

Es de mencionar además que al cemento utilizado, C-91, no se le realizó ningún tipo de prueba, ya que este producto es el resultado de un proceso de producción certificado y acreditado por la Norma de Gestión de Calidad ISO 9001:2008, la Norma de Gestión Ambiental ISO 14001:2004 y por laboratorios de Control de Calidad acreditados por ISO 17025:2005, esto se puede verificar a través del control de calidad de la empresa en el **ANEXO 1**.

De igual manera, al agua utilizada en los ensayos no fue necesario hacerle ningún tipo de prueba ya que se utilizó la suministrada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA); por lo cual es apta para el consumo humano. Cumpliendo así con la Norma ASTM C-270, la cual establece que el agua a utilizar para la fabricación de los morteros, debe ser limpia, libre de impurezas perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, minerales y materia orgánica o cualquier otra sustancia que pueda ser nociva; se sugiere utilizar agua potable.

En segundo lugar, se presenta el desarrollo de los procedimientos para determinar las propiedades del mortero, como lo son la fluidez en estado plástico, y la resistencia a la compresión en estado endurecido, este último punto, es la parte fundamental de ésta investigación.

La síntesis de los resultados, se realizó mediante la interpretación de datos representada en tablas resumen y gráficas, que servirán como parámetros para el posterior análisis de resultados.

3.2 RÍO CHIGÜILLO

El río Chigüillo es un recurso potencial de la zona Occidental del país, ubicado a 650 metros sobre el nivel del mar, en la ciudad de Santa Ana, que es un departamento con suelo de origen volcánico, específicamente gases y cenizas provenientes del llamatepec, además de ser un departamento que no cuenta con un banco de materiales, particularmente de arena, las ferreterías que proporcionan este material, lo compran en su mayoría a canteras de la zona Central del país, no todos los proyectos o personas naturales adquieren este material de dichos establecimientos, muchas veces toman el material de los ríos cercanos a la obra o proyecto, como es el caso del Río Chigüillo. Al visitar el lugar da la percepción de ser un río de agua limpia libre de contaminantes, pero cuando se tamizó la arena por medio de la maya #4, se encontró con una gran cantidad de desperdicios humanos, en los que se pueden mencionar vidrio que forman parte de su granulometría, plástico, cerámica, cassette de nintendo, y colmillos (**ver figura 12 y 13**), prueba de la contaminación humana a la que está expuesto, y como todo recurso hídrico es susceptible a la contaminación de aguas residuales ya sea por falta de drenaje o por accidentes como el que reportó ANDA el 5 de enero de 2009, manifestando que dicho río recibe aguas negras de un pozo roto, lo que conlleva a la contaminación del material, en este caso precisamente de la arena.

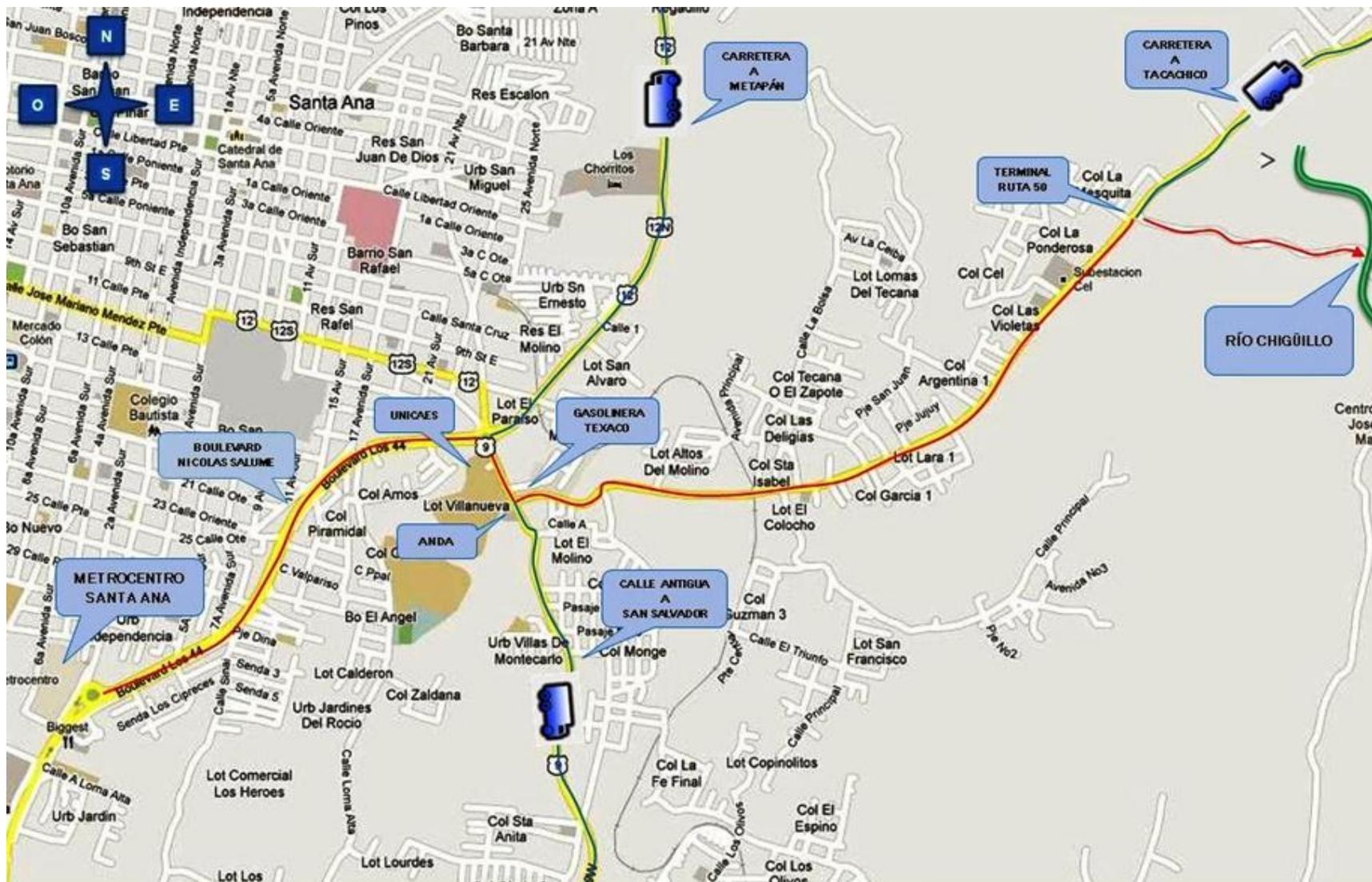
Figura 12: Río Chigüillo y calle de acceso.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Figura 13: Mapa de Ubicación del Río Chigüillo, Santa Ana, El Salvador.



Fuente: Google Earth

3.3 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ARENA

Como se mencionó en el capítulo II, el agregado para mortero, en este caso, la arena, es el mayor constituyente en una mezcla del mismo y es la que hace que ésta sea económica, además de proporcionar resistencia mecánica a dicho mortero cuando llega a su estado endurecido. De ahí la importancia de que esta deba cumplir ciertas características y propiedades para darles un uso ingenieril óptimo, por ejemplo debe tener partículas duras, limpias, resistentes y libre de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Debido a que la arena proveniente del río Chigüillo es una arena de la que se desconocen sus características, propiedades y su calidad para ser utilizada en la elaboración de mortero; se procedió a la realización de algunas pruebas de laboratorio que se describen a continuación.

Figura 14: Lugar donde se realizó el muestreo.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3.3.1 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136)

La prueba de análisis granulométrico consiste en determinar la clasificación de un material por sus tamaños de partículas individuales; valiéndose de la curva granulométrica. Para la realización de esta prueba se siguieron los lineamientos descritos en la norma ASTM C-136.

La prueba se realiza por medio del tamizado del material a través de diferentes mallas, lo cual se conoce como Análisis Granulométrico Mecánico, pero para este caso se realizó de forma manual.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo.
- 2) Juego de tamices estándar: #4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, tapa y fondo.
- 3) Balanza de precisión.
- 4) Recipiente para muestras (Charolas), Brocha y Cepillo de alambre.
- 5) Horno.
- 6) Franela.
- 7) Guantes para horno.

PROCEDIMIENTO

1. Tamizar la arena por la malla #4 y luego colocarla en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta que esté completamente seca.

Figura 15: Horno para el secado de la arena.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación.

2. Pesar una muestra, que como mínimo debe ser de 300 gramos (Se utilizó una masa inicial de 841.20 gramos).

Figura 16: Balanza de 0.1 gr de precisión.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3. Para efectuar el tamizado del material no se contó con la ayuda de un vibrador eléctrico (Rop-Tap), por lo cual dicho proceso fue realizado de manera manual, utilizando las siguientes tamices: #4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, tapa y un fondo, colocando uno sobre otro, agitando el arreglo de forma horizontal y vertical durante un periodo de 10 a 15 minutos.

Figura 17: Juego de 7 tamices, tapa y fondo para el tamizado de la arena.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4. Pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices del arreglo.

Figura 18: Resultado del Tamizado de la arena.



Fuente: **Grupo ejecutor de la investigación**

5. Calcular los porcentajes de material retenido en cada tamiz.
6. Definir los porcentajes retenidos parciales y calcular los porcentajes retenidos acumulado.
7. Detallar los porcentajes que pasan.
8. Trazar la curva granulométrica del material en una gráfica.
9. Especificar el Módulo de Finura para el agregado fino en estudio.

NOTA 1: Para los numerales del 5 al 9, ver fórmulas y cálculos en el capítulo cuatro.

3.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C-128).

La gravedad específica y la absorción, son propiedades físicas de los agregados que brindan información de gran ayuda en las propiedades de la mezcla de mortero.

La gravedad específica, peso específico o densidad relativa de un agregado, es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamientos de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo.
- 2) Agua.
- 3) Tamiz #4.
- 4) Frasco lavador.
- 5) Horno.
- 6) Balanza de precisión.
- 7) Picnómetro calibrado.
- 8) Cono truncado.
- 9) Pisón para asentamiento de 1 pulg de diámetro.
- 10) Probeta de 500 ml. de capacidad.
- 11) Charolas.
- 12) Bandejas.
- 13) Cuchara de albañil, Espátula y brocha.
- 14) Franela.
- 15) Gotero de hule.

PROCEDIMIENTO

1. Tamizar arena por la malla #4, tomar dos muestras de material que pase dicha malla y colocarlas en dos taras de pesos conocidos, dejar en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) hasta que la arena esté completamente seca.
2. Conocidos los pesos de la arena seca en cada tara, ésta se sumerge en agua hasta cubrirse por completo (**ver figura 19**), dejándolas reposar durante 24 horas.

Figura 19: Arena sumergida en agua durante 24 horas.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación.

3. Pasado este período, decantar el exceso de agua con el cuidado de no perder los finos de la muestra. Extender al sol cada muestra en una bandeja metálica, moviéndola regularmente hasta obtener un secado homogéneo.

Figura 20: Arena expuesta a la luz solar.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4. Para determinar la condición saturada superficialmente seca (SSS) de la arena, se utiliza el cono truncado y el pisón, sujetándolo firmemente en una superficie firme y lisa, el cual se llena con la arena en 2 capas, dándole 15 golpes con el pisón a la primera capa y 10 golpes a la segunda capa, se enrasa y se retira el cono sin hacer movimientos laterales; si la arena se queda formada el cono, esto nos dice que la arena tiene exceso de humedad, por lo cual se continúa secando y se repite lo antes descrito, hasta que el cono de arena se desmorone lentamente; es en ese momento cuando la arena ha llegado al estado de Saturado y Superficialmente Seco (SSS).

Figura 21: Procedimiento del cono truncado para la humedad superficial.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 22: Procedimiento del cono truncado para la humedad superficial.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación.

5. Con el agregado fino en condición Saturado y Superficialmente Seco (SSS) pesar 500 gr del mismo para utilizarlo en el procedimiento gravimétrico.

6. Pesar el picnómetro + agua en la balanza de precisión.
7. Vacíe el picnómetro hasta la mitad aproximadamente y luego se coloca la muestra SSS dentro del mismo, completando hasta la marca original con agua adicional si fuese necesario, se agita el conjunto picnómetro + agua + muestra, hasta que salga el aire contenido en burbujas, luego se termina de llenar el recipiente hasta la marca de aforo y se pesa el conjunto.

Figura 23: Procedimiento del Picnómetro.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

8. A continuación, se vierte el contenido del picnómetro en una tara de peso conocido, utilizar agua adicional para lavar el frasco si fuera necesario, de manera que no quede ninguna partícula de agregado en el frasco. Colocar el conjunto en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$ durante 24 horas o hasta que el agregado esté completamente seco.
9. Extraer las muestras de agregado del horno, pesarlas y con estos datos se calculan la Gravedad Específica y la Absorción de la arena.

3.3.3 CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO (ASTM C-566).

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado. Cuando dicha cantidad se exprese como porcentaje de la muestra seca (en horno), se denomina Porcentaje de humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. A los agregados se les encuentra en la intemperie y pueden tener algún grado de humedad, lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de agua para un determinado diseño de mezcla.

MATERIAL Y EQUIPO

De acuerdo a la norma C 566 se requiere:

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo.
- 2) Balanza de 0.1% de precisión.
- 3) Horno.
- 4) Charola pequeña.
- 5) Agitador.

NOTA: Para realizar esta práctica se utilizó únicamente el Analizador de Humedad MB45 de Ohaus (**ver figura 24**) para llevar a cabo la obtención de los parámetros y resultados.

PROCEDIMIENTO

De acuerdo a la norma ASTM C566:

- 1) Tomar una muestra representativa del agregado en las condiciones en que este se encuentra en el sitio.
- 2) Determinar la masa inicial de la muestra seleccionada.
- 3) Secar completamente la muestra en el horno de temperatura controlada.

- 4) Dejar enfriar la muestra y a continuación se determina su masa seca, verificar que la muestra este lo suficientemente fría para no dañar la balanza.
- 5) Con los datos obtenidos realizar los cálculos.

Para esta práctica, utilizando el Analizador de Humedad MB45 de Ohaus (**ver figura 24**), el procedimiento realizado fue el siguiente:

- 1) Tomar una muestra representativa del agregado en las condiciones en que este se encuentra en el sitio.
- 2) Colocarla en el recipiente del Analizador de Humedad MB45 (**figura 24**).

Figura 24: Muestra de arena dentro del analizador de humedad.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 3) Cerrar el aparato y esperar el tiempo requerido para que la muestra se seque. (**Ver figura 25**)

Figura 25: Analizador de humedad durante el proceso de análisis.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 4) Al secarse la muestra, tomar los datos y verificar el contenido de humedad del agregado. (ver figura 26)

Figura 26: Verificación de los datos obtenidos.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3.3.4 PESO UNITARIO (ASTM C 29)

El peso unitario de un agregado es la relación entre el peso de una determinada cantidad de este material y el volumen ocupado por el mismo, considerando como volumen al que ocupan las partículas del agregado y sus correspondientes espacios ínter granulares.

Los vacíos en los agregados, dependen de varios factores como: tamaño, forma, textura de superficie, granulometría y compactación.

Hay dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material inmediatamente antes de la prueba; la denominación que se le dará a cada uno de ellos será:

- Peso Volumétrico Suelto (PVSS).
- Peso Volumétrico Varillado (PVSV).

Ambos sirven para establecer relaciones entre volúmenes y pesos de estos materiales, determinando así el porcentaje de huecos existentes.

3.3.4.1 PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (ASTM C 29)

El peso volumétrico de un agregado seco suelto, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. Su objetivo es obtener la cantidad de agregado en kilogramos, que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de cemento en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 40% a 50% para el agregado fino (arena).

El valor del peso unitario o peso volumétrico suelto se utiliza:

- Para el diseño de mezclas de mortero.
- Para convertir pesos a volumen y viceversa.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Cucharón metálico.
- 2) Charola.
- 3) Bandeja.
- 4) Recipiente de volumen conocido.
- 5) Regla o enrasador metálico de 30 cms.
- 6) Balanza con 0.1% de precisión.
- 7) Cuarteadora.
- 8) Brocha y franela.

PROCEDIMIENTO

1. Seleccionar una muestra representativa del agregado, secarla al sol y cuartearla (ver figura 27).

Figura 27: Procedimiento del secado y cuarteo de arena.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

2. Se pesa el recipiente vacío.

Figura 28: Recipiente volumétrico para el ensayo.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3. Empleando el cucharón metálico, depositar el material dejándolo caer dentro del recipiente de volumen conocido, desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla metálica de 30 cms. (**Ver figura 29**).

Figura 29: Proceso de llenado y enrasado para el Peso Volumétrico Suelto.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso (**Ver figura 30**).
5. Este procedimiento se repite tres veces como mínimo.
6. Se hace el cálculo del Peso Volumétrico Suelto.

Figura 30: Recipiente Volumétrico con agregado fino.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3.3.4.2 PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (ASTM C 29)

El peso volumétrico de un agregado varillado o compactado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El objetivo es obtener la cantidad de la arena en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y dándole acomodo a las partículas por medio de golpes, utilizando una varilla de acero redondeada.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Cucharón metálico.
- 2) Charola.
- 3) Bandeja.
- 4) Recipiente de volumen conocido.
- 5) Regla o enrasador de 30 cms.
- 6) Varilla de acero redondeada de los bordes, de aproximadamente 24 pulg de longitud y 5/8 pulg de diámetro.
- 7) Balanza con 0.1% de precisión.
- 8) Cuarteadora.
- 9) Brocha y franela.

PROCEDIMIENTO

1. Seleccionar una muestra representativa del agregado, secarla al sol y cuartearla (**Ver figura 28**).
2. Se pesa el recipiente vacío. (**Ver figura 29**).
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, llenando el recipiente en 3 capas:

CAPA 1: Primero se deposita material hasta un tercio de capacidad del recipiente, aplicándole veinticinco golpes con ayuda de la varilla redondeada de acero, distribuyéndolos en toda el área (**ver figura 31**).

Figura 31: Aplicaciones de 25 golpes a la primera capa.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

CAPA 2: Luego se llena con material hasta el segundo tercio y se vuelve a golpear 25 veces con la varilla de acero.

CAPA 3: A continuación, se llena completamente el recipiente y se vuelve a golpear 25 veces con la varilla (**ver figura 32**).

Figura 32: Varillado por capas y enrasado.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Después de haberle aplicado los 25 golpes a la última capa, enrase y para realizar esta operación, si es arena, hacerlo con ayuda de un enrasador o regla metálica de 30 cm (**ver figura 32**)

4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso (**ver figura 29**).
5. Este procedimiento se repite tres veces como mínimo.
6. Se hace el cálculo del Peso Volumétrico Varillado.

3.3.5 SANIDAD DEL AGREGADO FINO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88).

Este método de ensayo describe la prueba para los agregados, empleada para estimar su solidez, cuando se someten a la acción de la intemperie en aplicaciones de concreto, morteros u otros. Esto se logra mediante inmersión repetida en soluciones saturadas de Sulfato de Sodio o Magnesio, seguido por el secado al horno parcial o completamente, con el fin de deshidratar el precipitado de sal en espacios de los poros permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal en la re-inmersión, simula la expansión de agua sobre la congelación. Este método de ensayo proporciona información útil para juzgar la solidez de los agregados, la cual es de gran importancia cuando estos son sometidos a la acción de los agentes atmosféricos.

MATERIAL Y EQUIPO:

- 1) Arena del Río Chigüillo.
- 2) Agua.
- 3) Juego de tamices: #3/8, #8, #16, #30, #50.
- 4) Charolas o taras.
- 5) Horno.
- 6) Balanza de precisión.
- 7) Olla grande.
- 8) Estufa eléctrica.
- 9) Solución de sulfato de sodio.
- 10) Solución de cloruro de bario.

SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO.

El volumen de solución debe ser, al menos cinco veces el volumen de sólidos para todas las muestras sumergidas al mismo tiempo. Se debe preparar una solución saturada de sulfato de sodio, disolviendo el peso necesario de sal de tipo comercial,

en agua a una temperatura de 25 a 30°C (77 a 86 °F). Se añade suficiente cantidad de sal (**ver nota 2**), bien de la forma anhidra (Na_2SO_4) o la forma cristalina ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), para asegurar no solamente que la solución esté saturada, sino también que quede un exceso de cristales cuando la solución esté preparada. Se agita bien la solución mientras se está preparando. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, mantener la solución cubierta en todo momento, cuando el acceso no sea necesario.

Se enfría la solución a $70 \pm 2^\circ\text{F}$ ($21 \pm 1^\circ\text{C}$) y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla; se agita bien inmediatamente antes de usarla, y en este momento debe tener un peso específico no inferior de 1,151 ni mayor de 1,174. La solución que presente impurezas debe filtrarse y debe volverse a comprobar su peso específico.

NOTA 2: Para la solución, 350g de sal anhidra ó 1230 gr. de la hidratada por litro de agua son suficientes para la saturación a 23°C (73.4°F). No obstante, como estas sales no son completamente estables, y siendo la sal hidratada la más estable de las dos, y puesto que es deseable que un exceso de los cristales estén presente, se recomienda utilizar la sal hidratada en una cantidad no inferior a 1400g / litro de agua.

La muestra del agregado fino, debe pasar toda por el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulg.). La muestra tendrá peso suficiente para poder obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican en la tabla 10, que estén presentes en la muestra en cantidad mayor del 5%.

Tabla 10: Tamices utilizados para la prueba de Sanidad de los agregados finos.

Fraciones de tamices utilizados para obtener muestras de agregado fino (arena) en la prueba de sanidad.	
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz
9.5 mm (3/8")	4.75 mm (No. 4)
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)

FUENTE: NORMA ASTM C88

SOLUCIÓN DE CLORURO DE BARIO

Una solución de cloruro de bario 0.2 molar (41.6 g de BaCl₂ por litro de solución) se usa para determinar la presencia de sulfato de sodio o de magnesio en el agua de lavado.

PROCEDIMIENTO

En este caso se ha utilizado únicamente agregado fino y el ensayo se realiza de la siguiente manera:

- 1) Se prepara la muestra de agregado fino lavándola vigorosamente sobre un tamiz No. 50, (**ver figura 33**), se seca hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera: se hace primero una separación aproximada, por medio de una serie de los tamices. De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma, se separa la suficiente cantidad de muestra para poder obtener 100g. después de tamizar sobre el correspondiente tamiz hasta el rechazo (en general, son suficientes unos 110 g). Las partículas de agregado fino que quedan pegadas o atrapadas en el tamiz no se emplean en la preparación de la muestra.

Las muestras de 100 g, de cada una de las fracciones, después del tamizado final, se pesan y colocan por separado en los recipientes para ensayo.

- 2) La muestra se sumerge en la solución de sulfato de sodio, durante un periodo no menor de 16 horas, ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13 mm por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación de sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantienen a una temperatura de 21 ± 1 °C (70 ± 2 °F), durante todo el tiempo de inmersión.

Para los agregados livianos es conveniente tapar los recipientes que contienen las muestras con una rejilla pesada de alambre, con lo cual se evitan pérdidas de la muestra.

Figura 33: Lavado del agregado y separación de las muestras para el secado.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 3) Después del período de inmersión, la muestra se saca de la solución, dejándola escurrir durante 15 ± 5 minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Se secan las muestras hasta que tengan un peso constante a la temperatura indicada. Luego del período de secado, (**ver figura 34**) se extraen las muestras del horno, enfriándolas a la temperatura ambiente, y se pesan a intervalos de tiempo no menores de 4 horas ni mayores de 18 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante, cuando dos pesadas sucesivas de una muestra, difieren menos de 0.1 g en el caso del agregado fino, o menos de 1.0 g en el caso del agregado grueso. Una vez alcanzado el peso constante, se sumergen de nuevo las muestras en la

solución. El proceso de inmersión y secado de las muestras se prosigue, hasta completar el número de ciclos que se especifiquen, para este caso son 5.

Figura 34: Arena que ha sido sumergida en Sulfato de Sodio.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4) Después de concluido el último ciclo y cuando la muestra se halla enfriado, se lava con suficiente agua hasta que quede exenta de sulfato de sodio, lo cual se reconoce en las aguas de lavado por la reacción al contacto con cloruro de bario (BaCl_2). Lavar con agua que circule a $110 \pm 10^\circ\text{F}$ ($43 \pm 6^\circ\text{C}$) a través de las muestras en sus recipientes Durante el lavado se debe evitar someter las partículas a impactos y frotamientos que puedan facilitar su fracturamiento ó desgaste.

5) **EXAMEN CUANTITATIVO:** Después de eliminar todo el sulfato de sodio, cada fracción de la muestra se seca hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), y se pesa. Se tamiza el agregado fino sobre los mismos tamices en que fue retenido antes del ensayo, y el agregado sobre los tamices indicados, según el tamaño de las partículas. No se debe emplear manipulación extra para quebrar las partículas o hacer que pasen las mallas. Pesar el material retenido en cada malla y registrar cada cantidad (**ver figura 35**).

La diferencia entre las cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada, es la perdida en el ensayo y es expresado como un porcentaje del peso inicial para uso en la **tabla 15** y también en la **tabla 16**.

NOTA 3: Como complemento, puede conseguirse más información examinando visualmente cada fracción, para observar si hay o no un excesivo cuarteamiento de las partículas.

Figura 35: Fracciones lavadas, secas y tamizadas después de los 5 ciclos de inmersión en Sulfato de Sodio.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

6) EXAMEN CUALITATIVO: Las fracciones de la muestra con tamaño mayor de 19.0 mm (3/4”) se examinan cualitativamente después de cada inmersión.

El examen cualitativo constará de dos partes:

- a) La observación del efecto que produce la acción del sulfato de sodio y la naturaleza de esta acción.
- b) El recuento del número de partículas afectadas.

La acción del sulfato de sodio puede manifestarse de muy diversas maneras; en general, podrá clasificarse como desintegración, resquebrajamiento, desmenuzamiento, agrietamiento, formación de lascas, descascaramiento, etc. Aunque solo se requiere el examen cualitativo de las partículas con tamaño mayor de 19.0 mm (3/4”), se recomienda que también se examinen los tamaños inferiores, para observar si se produce un resquebrajamiento excesivo, pero para el ensayo de agregados finos no aplica.

3.9 PRUEBAS AL MORTERO

3.9.1 FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C-109 y ASTM C-1437)

La fluidez se utiliza habitualmente en la prueba estándar del mortero, para calcular el contenido de agua que proporciona un nivel de flujo especificado para el desempeño óptimo de la mezcla, el cual deberá estar en 110 ± 5 .

Este ensayo requerido en la Norma ASTM C 109 y descrito en la ASTM C-1437, consiste en medir la variación de diámetro que experimenta el mortero en el cono truncado, al ser sometido a 25 caídas en la mesa de flujo, durante 15 segundos. Se acostumbra expresar la variación en función del valor del diámetro final ó también como variación en porcentaje con respecto al diámetro inicial y final.

Figura 36: Mesa de flujo y cono truncado.



Fuente: <http://www.amawebs.com/storage/photos/e66br37agmqm.jpg>

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo tamizada por la malla # 4.
- 2) Cemento de Mampostería ASTM C-91.
- 3) Agua.
- 4) Mezcladora mecánica (concretera).
- 5) Mesa de Fluidez, Molde de Fluidez (Cono truncado) de acuerdo a los requisitos de la Especificación C 230.

- 6) Tamper o pisón no absorbente, conforme a los requisitos del Método de Ensayo C 109.
- 7) Calibrador, conforme a los requisitos de la Especificación C 230, puede emplearse cualquier otra pieza de medición resistente a la corrosión del material a ensayar.
- 8) Cuchara, cucharón.
- 9) Calculadora.
- 10) Franela.

PROCEDIMIENTO

Inmediatamente después de mezclado el mortero y en estado plástico, tomar con una cuchara o cucharón una porción representativa de la revoltura, siguiendo de la siguiente manera:

- 1) Limpiar cuidadosamente la tabla de flujo y el molde cónico con una franela húmeda, seguidamente colocar el molde cónico centrado sobre la mesa de flujo.
- 2) Colocar una capa de mortero aproximadamente hasta la mitad del cono, aproximadamente de 25mm, de espesor y apisonar con el tamper 20 veces con la manipulación debida. La presión de apisonado será suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.
- 3) Sobre la primera capa apisonada, llenar el cono completamente de mortero, dejándolo rebalsar, apisonar nuevamente como se hizo para la primera capa.
- 4) Cortar el mortero a una superficie a ras, de manera plana sobre la parte superior del molde, mediante la manipulación de la regla o con el borde del tamper, con un movimiento de vaivén a través de la parte superior del molde.
- 5) Limpiar la superficie de la mesa, siendo especialmente cuidadoso para eliminar cualquier agua de alrededor del borde del molde de flujo.

- 6) Levante el molde del cono verticalmente y deje solo al mortero, inmediatamente después accione la tabla dejándola caer 25 veces en 15 segundos (**ver figura 37**).

Figura 37: Forma de levantar el cono truncado - Mortero listo para iniciar con la secuencia de 25 golpes.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 7) Con la pinza definida en la Especificación ASTM C-230, medir el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas marcadas en la superficie de la mesa, registrando cada lectura como el número de divisiones de la pinza, que se estima que es una décima parte de una división (**ver figura 38**). La sumatoria de estas lecturas debe dar como resultado 110 ± 5 (Con base en la sección 3.1 de la Norma ASTM C-109).

Figura 38: Medición de las 4 lecturas del mortero en las marcas de la mesa de flujo.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3.9.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO

Este ensayo se realiza aplicando el procedimiento establecido en el apéndice 7 de la norma ASTM C780: *Método de Prueba estándar para Preconstrucción y Evaluación de Morteros para Unidad Simple y Reforzada.*

ELABORACIÓN Y RUPTURA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE 2 PULG X 4 PULG Y DE 3 PULG X 6 PULG.

El uso de este método para determinar la resistencia a la compresión del mortero elaborado en campo, proporciona un medio para garantizar la calidad del éste. Los resultados de las pruebas obtenidas mediante este método de ensayo, no son necesarios para cumplir los valores mínimos de compresión, de acuerdo con lo especificado por la norma ASTM C 270.

El procedimiento para la elaboración y posterior ensayo a la compresión de los especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg y de 3 pulg x 6 pulg, es el mismo para ambos.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo tamizada por la Malla # 4.
- 2) Cemento de Mampostería ASTM C-91.
- 3) Agua.
- 4) Desmoldante (aceite mineral).
- 5) Mezcladora mecánica o concretera, (**ver figura 39**).
- 6) Contenedor no absorbente.
- 7) Probeta graduada.
- 8) Palangana metálica, cuchara, cucharón, espátula.
- 9) Franela, brocha y esponja.
- 10) Moldes para Especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg y 3 pulg x 6 pulg, según norma ASTM C 470.

- 11) Enrasador.
- 12) Mesa de Fluidez, Molde de Fluidez (Cono) y Pisón no absorbente (tamper).
- 13) Carretilla.
- 14) Marcador.
- 15) Pila de curado.
- 16) Balanza y cinta métrica.
- 17) Máquina de Ensayo (Máquina Universal), según norma ASTM C39.
- 18) Almohadillas de Neopreno.

Figura 39: Concretera mecánica de una bolsa.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

- 1) Aplicar una ligera capa de aceite mineral, en las superficie interior y placa base de los cilindros (por ejemplo, aceite mineral WD-40), este hará la función desmoldante para que el mortero no se adhiera al molde, los exceso de este aceite pueden eliminarse con la ayuda de un paño. Las líneas de contacto entre el molde y la placa base se deben sellar con cera, puede utilizarse grasa, para asegurarse de que cada compartimento este herméticamente cerrado.
- 2) Cargar la mezcladora (concretera) para la elaboración del mortero, tal como se hace en la construcción, esto es de la siguiente manera:
 - Colocar la mitad de agua estimada para la mezcla.

- Colocar la arena.
 - Colocar el cemento.
 - Adicionar el agua restante a mezcla para producir la consistencia deseada.
 - Mezclar el mortero a una velocidad normal para un total de 5 minutos, después de la finalización de la secuencia de carga, si la mezcla parece muy seca mientras se está realizando la revoltura, adicionar agua durante los primeros 4 minutos de este período de mezcla.
- 3) Al tener la mezcla con la consistencia deseada, medir su fluidez, aplicando el método de la mesa de flujo, ASTM C 1437, para verificar que esta tenga un valor de 110 ± 5 . Al tener la fluidez deseada, el llenado de los cilindros debe iniciarse en el transcurso de un tiempo total inferior a 2 minutos y 30 segundos después del mezclado original.

Figura 40: Fluidez del mortero para diferentes bachadas o revolturas.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

NOTA 4: Para esta investigación, se acordó utilizar la mesa de flujo para determinar la fluidez del mortero.

- 4) Colocar el mortero suavemente en el molde cilíndrico, en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonando cada capa 20 veces con el tamper manipulando con una revolución completa alrededor de la superficie interior del molde. Este apisonamiento debe hacerse de manera vertical, de arriba hacia

- abajo. Para el apisonado de la primera capa, se debe tener cuidado de no golpear con contra el fondo del molde.
- 5) En la compactación de las capas segunda y última, cada capa se comprime en una revolución completa (rotación), con sólo la presión suficiente para llenar debidamente el molde y eliminar los vacíos en el mortero. Si al compactar la última capa el mortero se comprime, llene ligeramente la capa superior agregando mortero.
 - 6) Después de que el molde se ha llenado (**ver figura 41**) y se apisona el mortero, toque los lados del molde ligeramente con el tamper o apisonador, a fin de evitar el atrapamiento de aire externo.
 - 7) Luego de unos minutos, con el enrasador, dar el acabado a la superficie superior del espécimen (**ver figura 41**), de manera que que la mezcla quede a nivel con la parte superior del molde.

Figura 41: Última capa de mortero en el llenado. - Acabado de la superficie superior.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 8) Después de la elaboración, cubrir la superficie superior del molde, usando una tapa o bolsa plástica, para minimizar la evaporación.

- 9) Después de 24 ± 4 horas, sacar las muestras y trasportarlas con cuidado al laboratorio para desenmoldarlas, rotularlas y almacenarlas en un ambiente húmedo, armario, habitación o pila de curado, en cumplimiento con la especificación ASTM C 511, hasta la edad a la que se van a ensayar.

PROCEDIMIENTO PARA LA RUPTURA

- 1) Mantener las muestras de prueba húmedas durante el período comprendido entre su salida de la pila de curado y la realización de la prueba de compresión, mediante el uso de una manta húmeda que las cubra completamente.
- 2) Limpie cada muestra y elimine con lima o sierra las desigualdades convexas o cóncavas, los granos de arena sueltos, incrustaciones que se encuentren en las caras que se pondrán en contacto con el bloque de apoyo de la máquina.
- 3) Registrar las dimensiones y masa de cada espécimen.
- 4) Alinee con cuidado el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque esférico sentado (**ver figura 42**).
- 5) Luego aplicar la carga, registrando la carga total máxima a la que falla el espécimen (**ver figura 42**) indicada por la máquina de ensayo, y calcular la resistencia a la compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Figura 42: Compresión de cilindros de 2 pulg x 4 pulg y 3 pulg x 6 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 43: Fallas a compresión en cilindros de 3 pulg x 6 pulg y 2 pulg x 4 pulg ensayados a los 7 días.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ELABORACION Y RUPTURA DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE 6 PULG X 12 PULG (ASTM C 31)

Esta norma determina los procedimientos y requisitos únicamente para la elaboración de especímenes de concreto.

Para mortero no se tiene una norma específica, que establezca la elaboración de especímenes de mortero de 6 pulg x 12 pulg; por lo que en esta investigación se aplicará el procedimiento establecido por esta norma.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo tamizada por la Malla # 4.
- 2) Cemento de Mampostería ASTM C-91.
- 3) Agua.
- 4) Desmoldante (aceite mineral).
- 5) Moldes de 6 pulg x 12 pulg, según norma ASTM C 470.
- 6) Mezcladora mecánica (concretera).
- 7) Depósito volumétrico para los materiales.
- 8) Probeta graduada.
- 9) Contenedor no absorbente.
- 10) Palangana metálica, Cuchara, cucharón, espátula.
- 11) Franela, brocha y esponja.
- 12) Mesa de Fluidez, Molde de Fluidez (Cono) y Pisón no absorbente (tamper).
- 13) Varilla punta redonda para apisonamiento de 5 / 8 pulg [16 mm] de diámetro y 20 pulg [500 mm] de largo, según norma ASTM C 31.
- 14) Mazo con cabeza de goma de 1.25 ± 0.5 libras.
- 15) Enrasador.
- 16) Pila de curado.
- 17) Balanza y cinta métrica.
- 18) Máquina de Ensayo (Máquina Universal), según norma ASTM C39.
- 19) Carretilla.

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

- 1) El molde de los especímenes debe colocarse rápidamente en una superficie nivelada, rígida y libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar lo más cerca posible al lugar donde vayan a ser almacenados.
- 2) Aplicar una ligera capa de aceite mineral en las superficie interior y placa base de los cilindros (por ejemplo, aceite mineral WD-40), este hará la función desenmoldante para que el mortero no se adhiera al molde, los exceso de este aceite pueden eliminarse con la ayuda de un paño. Las líneas de contacto entre el molde y la placa base se deben sellar con cera (puede utilizarse grasa) para asegurarse que cada compartimento esté herméticamente cerrado.
- 3) Cargar la mezcladora (concretera) para la elaboración del mortero, tal como se hace en la construcción en campo, esto es de la siguiente manera:
 - Colocar la mitad de agua calculada de la mezcla.
 - Agregar la arena.
 - Colocar el cemento.
 - Adicionar el agua restante a la mezcla, para producir la consistencia deseada.
 - Mezclar el mortero a una velocidad normal, para un total de 5 minutos. Después de la finalización de la secuencia de carga si la mezcla parece muy seca mientras se está realizando la revoltura, adicionar agua durante los primeros 4 minutos de este período de mezcla.
- 4) Al tener la mezcla con la consistencia deseada, medir su fluidez, aplicando el método de la mesa de flujo, para verificar que esta tenga un valor de 110 ± 5 . Al tener la fluidez deseada, el llenado de los cilindros debe iniciarse en el transcurso de un tiempo total inferior a 2 minutos y 30 segundos después del mezclado original.

NOTA 5: Para esta investigación, se acordó utilizar la mesa de flujo para determinar la fluidez del mortero.

- 5) Colocar el mortero suavemente en el molde cilíndrico, en tres capas de aproximadamente igual volumen, apisonando cada capa 25 veces con la varilla de 5/8 pulg de diámetro, dando una revolución completa alrededor de la superficie interior del molde. Este apisonamiento debe hacerse de manera vertical, de arriba hacia abajo.
- 6) Para el apisonado de la primera capa, introducir aproximadamente 25 mm [1 pulg], dentro de ella y se debe tener cuidado de no golpear con fuerza contra el fondo del molde. Para la segunda capa, permita que la varilla penetre a través de la capa inferior unos 25 mm [1 pulg], y así para la siguiente capa.
- 7) Después de cada capa colocada, golpee ligeramente con el mazo de 10 a 15 veces el exterior del molde, para cerrar cualquier agujero dejado por varillas y para liberar las burbujas de aire de gran tamaño, que pueden haber sido atrapadas.
- 8) Después de la consolidación, cortar el exceso de mortero de la superficie con el enrasador o una llana, para darle una superficie plana hasta que esté a nivel con el borde del molde (ver figura 44).

Figura 44: Mortero en reposo - Superficie superior plana a nivel con el borde del molde de 6 pulg x 12 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 9) Después de las 24 horas \pm 4 horas, saque las muestras y traspórtelas con cuidado al laboratorio para desenmoldarlas, rotularlas y almacenarlas en un ambiente húmedo, armario, habitación o pila de curado, en cumplimiento con la especificación ASTM C 511, hasta la edad a la que se van a ensayar.

Figura 45: Cilindros de 6 pulg x 12 pulg desenmoldados y rotulados.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

PROCEDIMIENTO PARA LA RUPTURA

- 1) Mantener las muestras de prueba húmedas durante el período comprendido entre su salida de la pila de curado y la realización de la prueba de compresión, mediante el uso de una manta húmeda que las cubra completamente.
- 2) Limpie cada muestra y elimine con lima o sierra las desigualdades convexas o cóncavas, los granos de arena sueltos, incrustaciones que se encuentren en las caras que se pondrán en contacto con el bloque de apoyo de la máquina.
- 3) Registrar las dimensiones y masa de cada espécimen (**ver figura 46**).
- 4) Alinee con cuidado el eje de la muestra con el centro de empuje del bloque esférico sentado (**ver figura 47**).

Figura 46: Toma de masa y dimensiones de 6 pulg x 12 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 47: Centrado del espécimen en la máquina de compresión.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 5) Luego aplicar la carga, (ver figura 48) registrar la carga total máxima a la que falla el espécimen, indicada por la máquina de ensayo y calcular la resistencia a la compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Figura 48: Cilindros de 6 pulg x 12 pulg sometido a compresión.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 6) Identificar el tipo de falla experimentada por el espécimen.

Figura 49: Tipos de fallas en cilindros de 6 pulg x 12 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ELABORACIÓN Y RUPTURA DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 2 PULG X 2 PULG (ASTM C780)

Este método de prueba cubre la determinación de la fuerza a compresión de los morteros de cemento hidráulico, utilizando especímenes cúbicos de 2 pulg x 2 pulg, se efectuará con un mínimo de tres muestras por cada período de prueba especificada.

MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Arena procedente del Río Chigüillo tamizada por la Malla # 4.
- 2) Cemento de Mampostería ASTM C-91.
- 3) Agua.
- 4) Desenmoldante (aceite mineral).
- 5) Depósito volumétrico para los materiales.
- 6) Probeta graduada.
- 7) Mezcladora mecánica (concretera).
- 8) Contenedor no absorbente.
- 9) Palangana metálica, cuchara, cucharón, espátula.
- 10) Moldes para Especímenes cúbicos de 2 pulg. (50 mm) según la norma ASTM C109.
- 11) Franela, brocha y esponja.
- 12) Enrasador (regla).
- 13) Mesa de Fluidez, Molde de Fluidez (Cono) y Pisón no absorbente (tamper).
- 14) Pila de curado.
- 15) Máquina de Ensayo (Máquina Universal). Según ASTM C 39.
- 16) Marcador.
- 17) Balanza y cinta métrica.

PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

- 1) Aplicar una ligera capa de aceite mineral en las superficies interiores y placa base de los cubos (por ejemplo, aceite mineral WD-40), este hará la función de sellador y desmoldante, los excesos de este aceite pueden eliminarse con la ayuda de un paño. Las líneas de contacto entre el molde y la placa base se deben sellar con cera (puede utilizarse grasa) para asegurarse de que cada compartimento este herméticamente cerrado.

- 2) Cargar la mezcladora (concretera) para la elaboración del mortero tal como se hace en la construcción, esto es de la siguiente manera:
 - Colocar la mitad de agua estimada de la mezcla.
 - Colocar la arena.
 - Colocar el cemento.
 - Adicionar el agua restante a mezcla para producir la consistencia deseada.
 - Mezclar el mortero a una velocidad normal para un total de 5 minutos. Después de la finalización de la secuencia de carga, si la mezcla parece muy seca, las adiciones de agua deben realizarse durante los primeros 4 minutos de este período de mezcla.

- 3) Al tener la mezcla con la consistencia deseada, medir su fluidez, aplicando el método de la mesa de flujo ASTM C1437, para verificar que esta tenga un valor de 110 ± 5 . Al tener la fluidez deseada, el moldeado de los cubos debe iniciarse en el transcurso de un tiempo total inferior a 2 minutos y 30 segundos después del mezclado original.

- 4) Llene aproximadamente la mitad de la profundidad de cada compartimento del molde en forma de cubos de mortero.

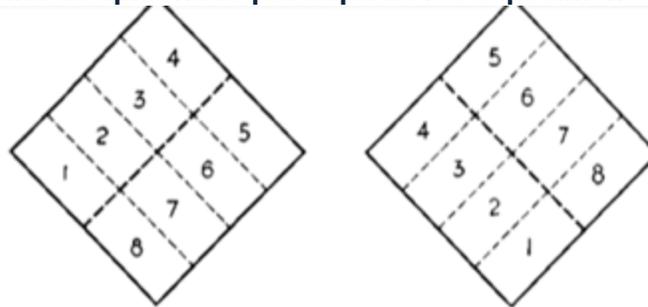
Figura 50: Secuencia para llenar y apisonar los moldes cúbicos de 2 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 5) Apisonar el mortero con el tamper en cada compartimento 32 veces (en 10 segundos aproximadamente) en cuatro rondas. Cada ronda es y consta de 8 golpes, como se ilustra en la **figura 51**, se debe terminar el apisonado de cada compartimento antes de pasar al siguiente.

Figura 51: Forma de apisonado por capa de los especímenes cúbicos.



Fuente: ASTM C 109

- 6) Cuando se haya apisonado la primera capa de cada compartimento, llénelos todos hasta que rebosen. Luego apisonélos como se especificó para la primera capa. Se debe volver a meter en el compartimento el mortero que se sale por la parte superior del molde durante el apisonado. Una vez terminado el apisonado, el mortero se debe extender ligeramente sobre el molde en forma de cubos.

- 7) Pase el enrasador por cada compartimento (como el primer borde ligeramente elevado) en un ángulo de 90° con respecto al largo del molde, para nivelar las partes superiores de los cubos, para luego dar el acabado deseado en la superficie.
- 8) Después de las 24 horas \pm 4 horas, trasportar con cuidado los especímenes al laboratorio para desenmoldarlos, rotularlos (**ver figura 52**) y almacenarlos en un ambiente húmedo, armario, habitación ó pila de curado, en cumplimiento con la especificación ASTM C 511, hasta la edad a la que se van a ensayar.

Figura 52: Desenmoldado y rotulado de cubos de 2 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE MORTERO EN LABORATORIO (ASTM C305)

Este procedimiento se utilizó en la elaboración del mortero para los especímenes de diseño que se han hecho según condiciones de laboratorio, utilizando el siguiente equipo de laboratorio en sustitución de la concretora, empleada para las condiciones de campo.

Equipo:

- Tazón.
- Mezclador (Mixer).
- Pateta.

Procedimiento:

Coloque en seco la paleta y el recipiente en posición en el mezclador. Luego introducir los materiales en el recipiente, para una revoltura y mezclar de la siguiente manera:

- 1) Coloque toda el agua de mezcla en el recipiente.
- 2) Agregar el cemento con el agua, a continuación, iniciar y mezclar a la velocidad lenta (140 ± 5 r/ min) durante 30 s.
- 3) Añadir la cantidad total de arena lentamente durante un período de 30 s, mientras se mezcla a velocidad lenta.
- 4) Detener el mezclador, cambiar a velocidad media (285 ± 10 r / min) y mezclar durante 30 s.
- 5) Detener el mezclador y dejar reposar el mortero durante 90 s. Durante los primeros 15 s de este intervalo, de forma rápida raspar cualquier resto de mortero que pueden haber recogido en el recipiente, y luego por el resto de este intervalo, cerrar el mezclador o cubrir el recipiente con una tapa.
- 6) Finalizar mezclando durante 60 s en la velocidad media (285 ± 10 r / min).
- 7) En cualquier caso si se requiere un intervalo de remezcla, cualquier mortero adherido a un lado de la taza, se debe raspar rápidamente hacia abajo en la revoltura con el raspador antes de remezclar.

Advertencia: las distancias entre la paleta y el recipiente, especificadas en esta práctica son adecuadas cuando se utiliza mortero hecho con arena estándar, como se describe en la Especificación ASTM C 778. Para que la mesa de mezclas pueda

operar libremente y para evitar daños a la paleta y el recipiente, tener en cuenta la sección 4.1 de la norma ASTM C305.

PROCEDIMIENTO DE RUPTURA

- 1) Ensayar las muestras de cubo inmediatamente después que ellos son removidos del gabinete húmedo. Si se saca más de un espécimen a la vez del armario húmedo para cada prueba, cubrir estos cubos con un paño húmedo hasta el momento de la prueba.
- 2) A la hora de ensayar, verificar que en los extremos de cada cubo, ya que pueden existir desigualdades convexas o cóncavas en ellos, si esto sucede se debe moler o picar las pequeñas irregularidades y cortar con sierra las irregularidades grandes. Limpie cada muestra y elimine los granos de arena sueltos .
- 3) Comprobar antes de la prueba de cada cubo, que el bloque esférico sentado de la máquina no tenga ninguna inclinación.
- 4) Una vez colocado el cubo en la máquina, aplicar la carga, registrando la carga total máxima indicada por la máquina de ensayo (**ver figura 53**), y calcular la resistencia a la compresión en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Figura 53: Cubo de 2 pulg sometido a carga de compresión.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 54: Fallas a compresión de cubos de 2 pulg en campo.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 55: Fallas a compresión de cubos de 2 pulg en laboratorio.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

3.9.3 PRUEBA DE VELOCIDAD PULSO ULTRASÓNICO

Los ensayos no destructivos son una herramienta útil para determinar la calidad del concreto, mortero o cualquier otro material endurecido; pero en ningún caso reemplazan a los destructivos.

En el caso de estructuras de dudosa calidad, ya sea afectada por esfuerzos o ataques de elementos agresivos al concreto o mortero, se suele aplicar esta técnica con el fin de efectuar un diagnóstico preliminar del elemento en estudio.

Entre las pruebas no destructivas se encuentra el uso del equipo ultrasónico. Con esta prueba es posible determinar el grado de homogeneidad, entre otras características. Esto se logra a través de mediciones de la velocidad ultrasónica sobre el material que se va a probar.

MATERIAL Y EQUIPO.

- 1) Aparato de pulso ultrasónico (V-Meter MK III), con transductores capaces de marcar el tiempo de propagación de una onda a través del mortero.
- 2) Especímenes cilíndricos de mortero de 2 pulg x 4 pulg, de 3 pulg x 6 pulg y de 6 pulg x 12 pulg.
- 3) Grasa o vaselina.
- 4) Franela.
- 5) Papel absorbente.
- 6) Calculadora.

PROCEDIMIENTO.

- 1) Cuidadosamente se elige el espécimen que se va a ensayar y se verifican todos los datos necesarios en las unidades requeridas. Se deben ensayar por lo menos tres especímenes para cada edad y tamaño.

- 2) Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos y fisuras que afectarán nuestra prueba. Si la superficie de contacto con los transductores es rugosa, es necesario pulirla con una piedra de pulir o lima, con el fin de evitar que se obtenga una señal defectuosa, (**ver figura 56**). La velocidad del pulso debe medirse a lo largo del espécimen entre sus caras moldeadas.

Figura 56: Especímenes seleccionados para la prueba de pulso ultrasónico.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

NOTA 6: En la **figura 11** se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba de la probeta. La transmisión puede ser directa, semidirecta o indirecta. Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el hormigón mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, la semidirecta puede usarse tomando en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal, aplicando el teorema de Pitágoras.

- 3) Realizar la calibración del dispositivo, (**ver figura 57**).
- 4) Asegurar que los transductores tengan un buen acoplamiento sobre la superficie del mortero (**ver figura 58**). Esto se logra colocando entre la superficie del espécimen de mortero y los transductores grasa o vaselina. En superficies muy rugosas se deberá efectuar un tratamiento previo.

Figura 57: Calibración del aparato.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 58: Acoplamiento de Transductores.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

- 5) Al colocar los transductores sobre la superficie del mortero, se debe procurar no moverlos, ya que se puede generar ruido y consecuentemente lecturas erróneas, por lo cual estos deben mantener firmes hasta que la lectura sea definida (**ver figura 59**).
- 6) Luego de colocar los transductores se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el mortero y la distancia entre transductores o terminales; estas distancias no deben ser menores de 400 mm y se recomienda que sean lo más constantes posibles, para asegurarse de que las lecturas obtenidas sean uniformes (**ver figura 60**).

Figura 59: Posición de los transductores en los especímenes de 6 pulg x 12 pulg y de 3 pulg x 12 pulg.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 60: Toma de lecturas de datos.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Una vez que la onda se transmite a través del mortero, es captada por el transductor receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Después de recibido, se obtendrá el tiempo de propagación de la onda en el mortero que, junto con la distancia entre transductores, ayudará a saber la velocidad de pulso. Esta velocidad se compara con diferentes criterios existentes y es así como se conocerá el estado del mortero ensayado. Registrar los datos.

7) Retirar completamente la grasa de los especímenes, para realizar otras pruebas.

CAPÍTULO IV: TABULACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos luego de haber realizado las pruebas tanto a la arena como al mortero, en su estado fresco y endurecido, siguiendo rigurosamente los procedimientos establecidos por las respectivas normas empleadas para cada una de estas pruebas.

Evaluando seguidamente cada uno de los resultados obtenidos para luego dar el respectivo análisis a estos.

4.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ARENA

4.2.1 GRANULOMETRÍA Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136)

Con la arena previamente tamizada a través de la malla #4 y posteriormente colocada al horno para secarla completamente. Se toma una muestra de 841.2 gramos de arena completamente seca, para efectuar el tamizado manual como se ha descrito en el capítulo anterior, a continuación se detallan los cálculos a realizar:

MODELO DE CÁLCULO

- 1) Se tabulan los pesos retenidos en cada una de las mallas del arreglo que plantea la Norma C 136, dentro de la columna “Masa Retenido Parcial (gr)”.
- 2) Calcular el porcentaje de masa retenida y colocarlo en la columna “Masa Retenida (%)”, dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos, entre el peso total de la muestra seca, por ejemplo para la masa retenida en el tamiz #8 se tiene:

Masa retenida en tamiz #8 = 142 gr.

Masa total de la muestra = 841.2 gr.

$$\% \text{ Retenido en tamiz N} = \frac{\text{Masa retenida en tamiz N} * 100}{\text{Masa total de la muestra}}$$

$$\% \text{ Retenido en tamiz \#8} = \frac{142 * 100}{841.2}$$

% Retenido en tamiz #8 = 16.88%

- 3) Con los % retenidos se calculan los porcentajes retenidos acumulados y se colocan en la columna “Retenido acumulado (%)” , sumando cada porcentaje retenido de cada una de las mallas, en el orden previamente establecido por el arreglo de los tamices, ejemplo:

$$\% \text{ Retenido acumulado tamiz \#8} = 0 + 16.88 = 16.88 \%$$

% Retenido acumulado tamiz #8 = 16.88 %

- 4) Para determinar los datos de la columna “% que pasa la malla”, simplemente se resta del 100%, el porcentaje retenido acumulado en el respectivo tamiz, por ejemplo para el tamiz #8 se tiene:

$$\% \text{ que pasa la malla \#8} = 100 - 16.88 = 83.12 \%$$

% que pasa la malla #8 = 83.12 %

- 5) Trazar la curva granulométrica del material en una gráfica, donde la abertura de las mallas se sitúan en las abscisas a escala logarítmica y en las ordenadas los porcentajes de material que pasan por dichas mallas, a escala natural, **ver figura 61**.
- 6) Los resultados del análisis granulométrico se resumen en el dato del Módulo de Finura, que se define como la suma de los porcentajes acumulados en cada una de las mallas dividido entre 100.

**“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO
ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”**

$$M.F. = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado en la malla \#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100}}{100}$$

$$M.F. = \frac{0 + 16.88 + 37.64 + 59.45 + 81.62 + 96.14}{100} = 2.917$$

M.F. = 2.92

TABULACIÓN

Los resultados obtenidos en el análisis granulométrico son los que se presentan en la **tabla 11**:

Tabla 11: Análisis granulométrico de la arena del Río Chigüillo.

MALLA	ABERTURA (mm)	M. RETENIDO PARCIAL (g)	MASA RETENIDA (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	QUE PASA LA MALLA (%)	RANGOS ASTM C- 144	
						MENOR (%)	MAYOR (%)
No. 4	4.75	0	0	0	100	100	100
No. 8	2.36	142	16.88	16.88	83.12	95	100
No. 16	1.18	174.6	20.76	37.64	62.36	70	100
No. 30	0.6	183.5	21.81	59.45	40.55	40	75
No. 50	0.3	186.5	22.17	81.62	18.38	10	35
No. 100	0.15	122.1	14.51	96.14	3.86	2	15
No. 200	0.075					0	5
FONDO		32.5	3.86	100.00			
SUMAS		841.2	100				

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

- i) Según lo especificado en la sección 4.2 de la norma ASTM C 144, se aclara que no podrá tenerse más del 50% retenido entre dos tamices consecutivos de la serie (No. 4 al No. 200), ni más del 25% entre No. 50 (300 µm) y la No. 100 (150 µm).

El primer requisito se cumple como se muestra en la columna 4 (% Masa Retenido) y el segundo requisito también se cumple como se aprecia en la misma columna 4, esta de la **tabla 11**.

ii) En cuanto al Módulo de Finura de esta arena es de **2.92**, clasificada según la norma ASTM C136 como una arena “**media gruesa**”.

iii) La granulometría de la arena no cumple con los límites establecidos por la norma ASTM C 144 para arena natural. La Grafica de la Curva Granulométrica presenta puntos en los que se sale del área de los límites establecidos en la especificación, los porcentajes se cumplen nada más para el tamiz No. 100, el No. 50 y el No. 30, este último casi a punto de salirse de la curva de la especificación del menor porcentaje permitido. No cumpliéndose con el porcentaje que debe pasar por la malla No. 16 y No. 8 donde el porcentaje que ha pasado por estas, es menor que el establecido como el mínimo permitido (**ver figura 61**).

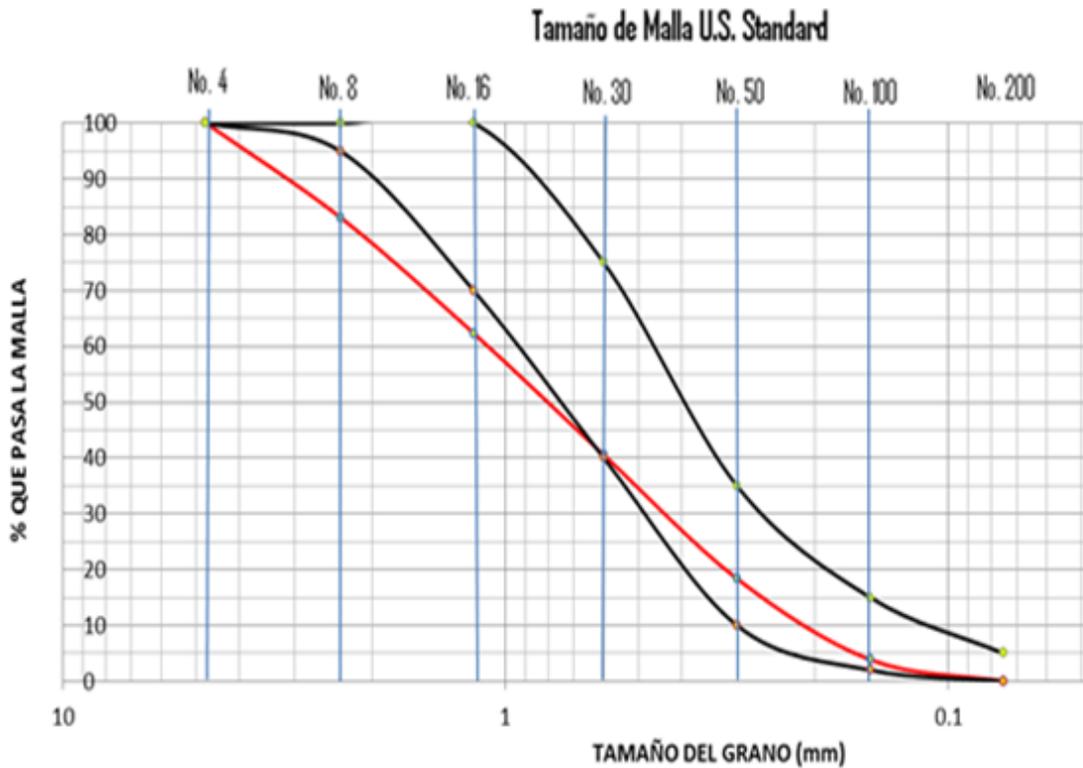
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se obtuvo un Módulo de Finura de 2.92, que por lo general es para arenas utilizadas en concreto y para ello se recomienda emplear agregados finos con un Módulo de Finura que varía entre 2.3 y 3.2, pero para mortero no se tiene ningún parámetro con el que se pueda establecer alguna comparación, la norma ASTM C 144 tampoco especifica valores mínimos ni máximos. Además en términos reales, un mismo valor de Módulo de Finura puede representar un número infinito de distribuciones granulométricas, por lo cual no se puede interpretar como una descripción de la granulometría de un agregado dado, sino, más bien, como un factor que indica de manera práctica, el predominio de partículas finas o partículas gruesas dentro de la distribución granulométrica.

Lo importante para seleccionar una arena es que tenga una buena gradación, lo cual garantiza que cuando se mezcle con el cemento y el agua se tenga una

adecuada distribución de las partículas, lo cual es un factor importante para obtenerse un mortero de calidad; y en este caso, la arena proveniente del Río Chigüillo no cumple con la granulometría especificada por la norma ASTM C144 para la arena natural, por lo cual el mortero elaborado con esta arena, no brindara una calidad óptima.

Figura 61: Curva granulométrica del Río Chigüillo.



Nomenclatura: — Límites de zona de especificación ASTM C 144 para arena natural.

— Curva Granulométrica, Arena Río Chigüillo.

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (ASTM C-128)

De acuerdo a la condición de humedad del agregado, la gravedad específica se determina en condición Saturado y Superficialmente Seco (SSS). Esta información permite hacer una relación entre el peso de los agregados y el volumen que ocupa dentro de la mezcla. La diferencia en pesos expresada como porcentaje del peso seco es la capacidad de absorción.

Luego de haber realizado los procedimientos establecidos por la norma ASTM C128 para medir la Gravedad Especifica (Densidad Relativa) de la arena en estado Seco y en estado Saturada Superficialmente Seca (SSS), y de haber medido porcentaje de absorción de esta, se presentan los resultados siguientes:

MODELO DE CÁLCULO

La gravedad específica de masa seca, gravedad específica de masa SSS, y la absorción, se calculan de empleando las formulas siguientes:

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$\text{Absorción} = \frac{(S - A) \times 100}{A}$$

$$\text{Agua} = W_{\text{sss}} - W_{\text{seco}}$$

Donde:

A = Masa de la muestra secada al horno, gramos

B = Masa del picnómetro+ agua, gramos

C = Masa del picnómetro + muestra + agua, hasta la marca de calibración, gr.

S= Masa de la muestra en condición SSS, gramos.

Del ensayo se obtuvieron los siguientes datos para la muestra No.1

$$A = 468.1 \text{ gr}$$

$$B = 1442.7 \text{ gr}$$

$$C = 1728.9 \text{ gr}$$

$$S = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Gravedad Específica de Masa (seca)} = \frac{468.1}{213.8} = 2.19$$

$$\text{Gravedad Especifica de masa seca} = 2.19$$

$$\text{Gravedad Específica de Masa (SSS)} = \frac{500}{213.8} = 2.34$$

$$\text{Gravedad Especifica de masa SSS} = 2.34$$

$$\text{Absorción} = \frac{3190}{468.1} = 6.81 \%$$

$$\text{Absorción} = 6.81\%$$

$$\text{Agua} = 500 - 468.10 = 31.9 \text{ gr}$$

$$\text{Agua} = 31.90 \text{ gr.}$$

Para la Muestra No. 2 se procede a realizar el cálculo de la Gravedad Específica, Absorción y Agua, de la misma forma que se realizó para la Muestra No. 1, luego se promedian los resultados de ambas muestras y así se obtiene resultados para la muestra en conjunto:

TABULACIÓN

Los resultados obtenidos para ambas muestras, se encuentran resumidos en la **tabla 12.**

Tabla 12: Gravedad específica y absorción de la arena del Río Chigüillo.

MUESTRA No. 1		MUESTRA No. 2	
S. Masa de la muestra SSS (g) :	500.00	S. Masa de la muestra SSS (g) :	500
B. Masa Picnómetro + Agua (g) :	1442.70	B. Masa Picnómetro + Agua (g) :	1442.7
C. Masa Picnómetro + Agua+ Muestra (g) :	1728.90	C. Masa Picnómetro + Agua+ Muestra (g) :	1728.4
Masa seca de la Muestra + Tara (g) :	671.30	Masa seca de la Muestra + Tara (g) :	628.2
Masa Tara (g) :	203.20	Masa Tara (g) :	160.3
A. Masa Seca de la muestra (g) :	468.10	A. Masa Seca de la muestra (g) :	467.9
Agua (g) :	31.90	Agua (g) :	32.1
ABSORCION, (%)	6.81	ABSORCION, (%)	6.86
Gravedad Específica Seca:	2.19	Gravedad Específica Seca:	2.18
Gravedad Específica SSS:	2.34	Gravedad Específica SSS:	2.33
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA PROMEDIO:	2.186	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS PROMEDIO:	2.336
ABSORCION PROMEDIO (%):	6.84		

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

- i) La Gravedad Específica Promedio de la arena en condición seca es **2.19**.
- ii) La Gravedad Específica Promedio de la arena en condición Saturada Superficialmente Seca (SSS) es **2.34**.
- iii) El porcentaje de absorción de la arena es de **6.84%**.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Este análisis está basado en la norma ASTM C128, que establece que no se tiene un material de referencia adecuado para determinar la tendencia de estos valores para este método de ensayo, por lo cual no se tiene parámetros para comparar.

Sánchez de Guzmán (2001), establece que la Gravedad Específica de algunos agregados pétreos naturales en condición seca, oscila entre 2.3 y 2.8. Por lo cual, si se basa en este rango, la arena del Río Chigüillo queda por debajo del valor mínimo establecido.

4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO (ASTM C-566)

Este Método de Ensayo, según la norma C 566, cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros de los agregados.

MODELO DE CÁLCULO

De acuerdo a la norma C566, el contenido de humedad total evaporable se calcula a partir de la ecuación:

$$p = 100 \times \frac{(W-D)}{D}$$

Donde:

p = contenido de humedad de la muestra, (%)

W = masa de la muestra original, (G)

D = masa de la muestra seca, (g)

Empleando los datos obtenidos, se tiene:

W = 20.33 g

D = 18.59 g

$$p = 100 \times \frac{(20.33-18.59)}{18.59} = 9.359\%$$

p = 9.35 %

Empleando el Analizador de Humedad MB45 Ohaus, y sobre la base del principio termogravimétrico de este aparato se ha obtenido la siguiente información:

W inicial = 20.327 g

W final = 18.589 g

Duración de la prueba = 35 minutos

Temperatura = 110°C

% de humedad del agregado = 9.35%

% de sólido = 90.65%

ANÁLISIS

De acuerdo a los resultados procesados por el Analizador de humedad MB45 Ohaus, con el agregado en las condiciones del sitio, después de 35 minutos y a una temperatura de 110°C el contenido de humedad de la arena procedente del Río Chigüillo fue de 9.35% (**ver figura 25**).

Resumiendo y tomando en cuenta el resultado obtenido del Método de Ensayo C 128 y C 136:

Absorción =6.81%

Contenido de humedad =9.35%

De la Norma ASTM C 566 de la sección 8.2 se extrae que:

Humedad Superficial = Humedad total evaporable – Absorción

Humedad Superficial = 9.35 – 6.81

Humedad Superficial = 2.54%

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El contenido de humedad del agregado fino obtenido en el laboratorio, fue relativamente alto al comparar con otros estudios hechos a otros agregados finos.

El Método de Ensayo ASTM C 566 en su sección 8.2 establece otro parámetro para poder realizar una interpretación de los resultados obtenidos, este es en relación a la Humedad Superficial y debido a que es positiva y de 2.54%, este dato indica que el

agregado está aportando agua a la mezcla, por ello el agregado se encuentra húmedo y en este estado existe una película de agua que rodea el agregado, llamado agua libre, que viene a ser la cantidad de exceso respecto al estado saturado superficialmente seco; para el diseño de mezclas es importante saber esta propiedad.

4.5 PESO UNITARIO (ASTM C 29)

El peso volumétrico también llamado “peso unitario o densidad en masa” es un Método que se aplica en agregados gruesos, finos ó en una combinación de ambos agregados. Para el cálculo del peso unitario del agregado en estudio, se han utilizado como unidades los kilogramos por metro cúbico, siguiendo el procedimiento establecido por la norma ASTM C29, se obtuvo lo siguiente:

4.5.1 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (ASTM C 29)

Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m - W_r}{V_r}$$

Donde:

W_m = Masa promedio del recipiente + agregado (kg).

W_r = Masa del recipiente (kg).

V_r = Volumen del recipiente (m^3).

MODELO DE CÁLCULO

Para evaluar el P.V.S.S. debe obtenerse el promedio de las masas del agregado de las tres muestras a ensayar, para luego utilizarlo en la fórmula, con los siguientes datos:

$$W_m = 5.50 \text{ Kg.}$$

$$W_r = 1.73 \text{ Kg.}$$

$$V_r = 2.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P.V.S.S. = \frac{5.50 - 1.73}{2.84 * 10^{-3}} = 1328.06 \text{ Kg/m}^3$$

$$P.V.S.S. = 1328.06 \text{ Kg/m}^3$$

TABULACIÓN

Tabla 13: Datos para el Peso Volumétrico Seco Suelto.

SUELTO	
A. Masa Recipiente Vacío (Kg) :	1.73
B. Volumen Recipiente (m³) :	2.84E-03
Masa Recipiente + Agregado (kg) #1:	5.52
Masa Recipiente + Agregado (kg) #2:	5.50
Masa Recipiente + Agregado (kg) #3:	5.47
Masa Recipiente + Agregado (kg) PROMEDIO:	5.50
C. Masa Agregado (kg) PROMEDIO:	3.77
PESO UNITARIO (kg/m³):	1328.06

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

El peso volumétrico seco en estado suelto de la arena es de 1328.06 kg/m³, el secado de la muestra se realizó exponiéndola a la luz natural del sol, **ver figura 27.**

4.5.2 PESO VOLUMÉTRICO SECO VARILLADO (ASTM C 29)

Para calcular el peso volumétrico del material varillado o compactado se emplea la siguiente fórmula:

$$P.V.S.V. = \frac{W_m - W_r}{V_r}$$

Donde:

$$W_m = \text{Peso de la arena} + \text{peso del recipiente} = \text{kg.}$$

$$W_r = \text{Peso del recipiente} = \text{kg}$$

$$V_r = \text{Volumen del recipiente} = \text{m}^3$$

MODELO DE CÁLCULO

Para evaluar el P.V.S.V. debe obtenerse el promedio de las masas del agregado de las tres muestras del material seco y varillado a ensayar, para luego utilizarlo en la fórmula, con los siguientes datos:

$$W_m = 5.76 \text{ Kg.}$$

$$W_r = 1.73 \text{ Kg.}$$

$$V_r = 2.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con los datos extraídos de la prueba, se sustituye en la fórmula, obteniendo:

$$P.V.S.V. = \frac{5.76 - 1.73}{2.84 \times 10^{-3}} = 1420.09 \text{ kg/m}^3$$

$$P.V.S.V. = 1420.09 \text{ Kg/m}^3$$

TABULACIÓN

Tabla 14: Datos para el Peso Volumétrico Seco Varillado

VARILLADO	
A. Masa Recipiente Vacío (Kg) :	1.73
B. Volumen Recipiente (m³) :	2.84E-03
Masa Recipiente + Agregado (kg) #1:	5.78
Masa Recipiente + Agregado (kg) #2:	5.75
Masa Recipiente + Agregado (kg) #3:	5.75
Masa Recipiente + Agregado (kg) PROMEDIO:	5.76
C. Masa Agregado (kg) PROMEDIO:	4.03
PESO UNITARIO (kg/m³):	1420.09

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

El peso volumétrico seco en estado varillado o compactado de la arena es de 1420.09 kg/m³ y de igual forma el secado de la muestra se realizó exponiéndola a la luz solar (**ver figura 27**).

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La norma ASTM C 129 solo establece el procedimiento a seguir para evaluar el peso Volumétrico (peso unitario) en estas dos condiciones, pero no establece ningún parámetro para poder comparar resultados y dar una apreciación en cuanto a la condición de la arena. Estos pesos unitarios proporcionan una valiosa información en cuanto a la relación peso/ volumen para poder obtener ya sea el volumen o el peso en determinado momento.

4.6 SANIDAD DEL AGREGADO FINO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88)

Siguiendo los procedimientos establecidos por la norma ASTM C88, empleada para evaluar el grado de sanidad (solidez) de los agregados, cuando son sometidos a cinco ciclos de inmersión en Sulfato de Sodio y luego secados al horno. Para el caso de la arena del Rio Chigüillo, los resultados fueron los siguientes:

MODELO DE CÁLCULO

Para poder completar el informe de laboratorio, se procede de la siguiente manera, como lo establece la norma ASTM C 88.

- 1) Verificando el Análisis Granulométrico (ASTM C-136), **TABLA 11**, se trasladan las cantidades de masa de retenidos que corresponde a cada tamiz y grupo.

- 2) Se obtienen el % de graduación de la Muestra Original a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Gradación} = \frac{100 \times (\text{Masa retenida en un tamiz})}{\sum \text{Masa de retenidos}}$$

Por ejemplo para el retenido en el tamiz No. 30:

$$\% \text{ Gradación} = \frac{100 \times (183.50)}{977.4} = 18.77$$

$$\% \text{ Gradación Tamiz No.30} = 19\%$$

- 3) Registrar el peso de las fracciones antes de iniciar el ensayo.
- 4) Después de los 5 ciclos de inmersión y después del secado de la muestra al horno se determina el % de agregado que pasa la malla designada después del tamizado.

Por ejemplo para el conjunto de tamices No.16 –No.30, se tiene:

$$\% \text{ Sin tamizar} = \frac{100 \times (77.6)}{411.3} = 18.88$$

$$\% \text{ Sin tamizar} = 18.9 \%$$

- 5) Para calcular el porcentaje de agregado de cada grupo de tamices, se sigue el mismo procedimiento del numeral anterior.
- 6) El porcentaje de pérdida se obtiene de la diferencia entre la masa de la muestra inicial y la masa obtenida después del tamizado.

TABULACIÓN

Tabla 15: Masa y porcentaje de retenidos en la serie de tamices.

Tamiz	Sin tamizar g	Sin tamizar %	Tamizado g	Tamizado %	Pérdida g	Pérdida ponderada %
3/8" a No.4	81.9	19.9	79.8	19.4	20.20	19
No.4 a No.8	81.5	19.8	77.6	18.9	22.40	21
No.8 a No.16	80.4	19.5	77	18.7	23.00	22
No.16 a No.30	77.6	18.9	74.9	18.2	25.10	23
No.30 a No.50	89.9	21.9	83.8	20.4	16.20	15
Menos que No.50			17.6	4.3		
TOTALES	411.3	100	410.7	100	106.90	100

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Tabla 16: Sanidad de la arena del Río Chigüillo.

Tamaño de Malla	Masa Retenidos (g)	Grupos	Graduación de la Muestra Original (%)	Peso de Fracciones antes de Ensayo (g)	Porcentaje que pasa la malla designada después del tamizado	Porcentaje de Perdida
3/8" a No.4	0	3/8" a No.4	0	100.00	19	19
No.4 a No.8	142.00	No.4 a No.8	21	100.00	19	21
No.8 a No.16	174.60	No.8 a No.16	25	100.00	19	22
No.16 a No.30	183.50	No.16 a No.30	27	100.00	18	23
No.30 a No.50	186.50	No.30 a No.50	27	100.00	20	15
Menos que No.50		Menos que No.50			4	
TOTALES	686.6		100	500.00	100	100

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

En el apartado 6.1 de la norma ASTM C144, se determina que para una arena con la graduación establecida dentro de los rangos presentados en su apartado 4, sometida a cinco los ciclos de inmersión y secado; las pérdidas no serán superiores al 10% cuando se utilice Sulfato de Sodio y del 15% cuando el Sulfato de Magnesio es utilizado.

La arena del Rio Chigüillo fue sometida a cinco ciclos de inmersión en Sulfato de Sodio, obteniéndose pérdidas arriba del 10%, que es el valor máximo permitido (**ver tabla 15 y 16**).

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Es de aclarar que un requisito que exige esta norma, es que la arena debe cumplir con los límites granulométricos establecidos en su apartado 4. La arena del Rio Chigüillo como se estableció en el análisis granulométrico (**ver tabla 11**) no cumple 2 de estos parámetros.

Por lo cual, no puede hacerse una comparación exacta, pero si se tiene la certeza que no es una arena susceptible a cambios en el clima, debido a que tiene más del 10% de pérdidas (**ver tabla 15 y 16**) por lo que no es recomendable para su utilización en lugares donde existen variaciones drásticas en el clima.

4.7 PRUEBAS AL MORTERO

4.7.1 FLUIDEZ DEL MORTERO (ASTM C-109 y ASTM C-1437)

La fluidez se utiliza habitualmente en la prueba estándar del mortero, para calcular el contenido de agua que proporciona un nivel de flujo especificado para el desempeño óptimo de la mezcla, el cual deberá estar en 110 ± 5 .

MODELO DE CÁLCULO

- 1) Posteriormente a la terminación de los 25 golpes de la mesa de flujo, medir (con la pinza señalada en la Especificación ASTM C-230) el diámetro que presenta el mortero a lo largo de las cuatro líneas marcadas en la superficie de la mesa de flujo (**ver figura 38**) y registrar esas cuatro lecturas.

2) Realizar la sumatoria de las cuatro lecturas.

A continuación se presenta como ejemplo las lecturas obtenidas a la hora de realizar la prueba para los especímenes a la edad de 28 días:

Cubos de 2 pulgadas

1ª Lectura: 24

2ª Lectura: 26

3ª Lectura: 27

4ª Lectura: 26

$$\text{Fluidez} = 24+26+27+26$$

Fluidez =103 Ok

Cilindros de 2 pulg X 4 pulg

1ª Lectura: 27

2ª Lectura: 27

3ª Lectura: 27

4ª Lectura: 27

$$\text{Fluidez} = 27+27+27+27$$

Fluidez=108 ok.

TABULACIÓN

Los valores de la fluidez obtenida en laboratorio, en cada una de las bachadas, para la elaboración de los diferentes tamaños de especímenes, se encuentran incluidas dentro de la **TABLA 29** a la **TABLA 34**, donde se pueden verificar.

ANÁLISIS

Así, la fluidez obtenida en cada caso, se encuentra dentro de los límites normados. La sumatoria de dichas lecturas debe proporcionar una fluidez de 110 ± 5 para poder utilizar el mortero que se ha elaborado.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Si no se obtiene una fluidez 110 ± 5 y si la fluidez da menos de 105, tendrá que adicionarse agua a la mezcla y dar más revolturas a la mezcladora, para luego ser probado nuevamente.

4.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO ELABORADOS SEGÚN CAMPO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO DE 2 PULG X 4 PULG Y DE 3 PULG X 6 PULG Y CUBOS DE 2 PULG (ASTM C780)

Una propiedad importante del mortero es su resistencia a la compresión, definida como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) y se designa con el símbolo $f'c$.

Los procedimientos se han llevado a cabo de acuerdo con las normas de la ASTM.

MODELO DE CÁLCULO

Para poder evaluar la resistencia a la compresión de mortero, se realizará en 2 etapas, una en condiciones de laboratorio y otra de campo. Para la condición de laboratorio se elaboraron 3 cubos de 2 pulg x 2 pulg, 2 cilindros de 2 pulg x 4 pulg, 2 cilindros de 3 pulg x 6 pulg y 2 cilindros de 6 pulg x 12 pulg.

Para la condición de campo, se elaboraron 30 cilindros para cada uno de los especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, 6 pulg x 12 pulg y 45 cubos de 2 pulg x 2 pulg en ambas condiciones se elaboraron los especímenes antes mencionados para cada una de las edades a evaluar 3, 7 y 28 días.

Las fórmulas que se han utilizado para ello son las siguientes:

$$\text{Área cilindro} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\text{Área cubo} = L \times L$$

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F}{A}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

D = diámetro del cilindro.

F = carga proporcionada por la máquina universal.

A = área del espécimen.

L = lado del cubo.

TABULACIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos después de un largo proceso para la elaboración, curado y sometimiento de los especímenes al ensayo de compresión.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 17: Resistencia a la compresión a los 3 días en especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg.

CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (3 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	29/05/2012	01/06/2012	531.6	5.75	10.25	25.97	266.16	2.00	976	37.59	37.64
	29/05/2012	01/06/2012	536.7	5.75	10.4	25.97	270.06	1.98	979	37.7	
2	29/05/2012	01/06/2012	526.5	5.7	10.2	25.52	260.28	2.02	985	38.6	38.21
	29/05/2012	01/06/2012	532.2	5.75	10.3	25.97	267.46	1.99	982	37.82	
3	29/05/2012	01/06/2012	540.6	5.7	10.35	25.52	264.11	2.05	948	37.15	36.69
	29/05/2012	01/06/2012	538	5.75	10.3	25.97	267.46	2.01	941	36.24	
4	29/05/2012	01/06/2012	524.2	5.75	10.35	25.97	268.76	1.95	951	36.62	36.68
	29/05/2012	01/06/2012	535.7	5.75	10.35	25.97	268.76	1.99	954	36.74	
5	29/05/2012	01/06/2012	537.9	5.75	10.4	25.97	270.06	1.991	977	37.62	37.53
	29/05/2012	01/06/2012	526.3	5.75	10.25	25.97	266.16	1.98	972	37.43	
6	29/05/2012	01/06/2012	531	5.7	10.25	25.52	261.56	2.03	970	38.01	38.19
	29/05/2012	01/06/2012	546.9	5.7	10.5	25.52	267.94	2.04	979	38.37	
7	29/05/2012	01/06/2012	542.5	5.7	10.35	25.52	264.11	2.05	953	37.35	37.48
	29/05/2012	01/06/2012	549.3	5.7	10.35	25.52	264.11	2.08	960	37.62	
8	29/05/2012	01/06/2012	525.1	5.8	10.3	26.42	272.13	1.93	986	37.32	37.57

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

	29/05/2012	01/06/2012	539.5	5.75	10.35	25.97	268.76	2.01	982	37.82	
9	29/05/2012	01/06/2012	536.3	5.75	10.35	25.97	268.76	1.99	951	36.62	36.78
	29/05/2012	01/06/2012	537.4	5.75	10.35	25.97	268.76	2.00	959	36.93	
10	29/05/2012	01/06/2012	534.7	5.75	10.3	25.97	267.46	2.00	966	37.2	37.3
	29/05/2012	01/06/2012	535	5.75	10.4	25.97	270.06	1.98	971	37.39	
11	29/05/2012	01/06/2012	536.2	5.75	10.3	25.97	267.46	2.00	975	37.55	37.47
	29/05/2012	01/06/2012	535.7	5.75	10.25	25.97	266.16	2.01	971	37.39	
12	29/05/2012	01/06/2012	539.4	5.75	10.3	25.97	267.46	2.02	944	36.35	36.43
	29/05/2012	01/06/2012	521.8	5.75	10.3	25.97	267.46	1.95	948	36.51	
13	29/05/2012	01/06/2012	536.6	5.75	10.3	25.97	267.46	2.01	952	36.66	36.62
	29/05/2012	01/06/2012	528.2	5.75	10.2	25.97	264.87	1.99	950	36.58	
14	29/05/2012	01/06/2012	541	5.75	10.35	25.97	268.76	2.01	947	36.47	36.87
	29/05/2012	01/06/2012	545.3	5.7	10.4	25.52	265.38	2.05	951	37.27	
15	29/05/2012	01/06/2012	549.1	5.8	10.5	26.42	277.42	1.98	960	36.33	36.27
	29/05/2012	01/06/2012	537.4	5.75	10.25	25.97	266.16	2.02	940	36.2	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (3 DÍAS), Kg/cm²											37.18

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 18: Resistencia a la compresión a los 7 días en especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg.

CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (7 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	25/06/2012	01/06/2012	548.5	5.7	10.3	25.52	262.83	2.086	1888	73.99	72.59
	25/06/2012	01/06/2012	546.2	5.8	10.3	26.42	272.13	2.01	1881	71.19	
2	25/06/2012	01/06/2012	548.9	5.6	10.3	24.63	253.69	2.16	1840	74.71	73.48
	25/06/2012	01/06/2012	546.4	5.7	10.35	25.52	264.11	2.07	1844	72.26	
3	25/06/2012	01/06/2012	543.4	5.8	10.35	26.42	273.45	1.99	1925	72.86	72.8
	25/06/2012	01/06/2012	551.2	5.8	10.35	26.42	273.45	2.01	1922	72.75	
4	25/06/2012	01/06/2012	551.6	5.7	10.3	25.52	262.83	2.10	1881	73.71	72.53
	25/06/2012	01/06/2012	548.4	5.8	10.25	26.42	270.81	2.02	1885	71.35	
5	25/06/2012	01/06/2012	546.3	5.75	10.25	25.97	266.16	2.05	1905	73.36	74.57
	25/06/2012	01/06/2012	549.3	5.65	10.2	25.07	255.73	2.15	1900	75.78	
6	25/06/2012	01/06/2012	547.2	5.8	10.25	26.42	270.81	2.02	1800	68.13	70.14
	25/06/2012	01/06/2012	542.3	5.6	10.17	24.63	250.49	2.16	1777	72.15	
7	25/06/2012	01/06/2012	550.3	5.8	10.25	26.42	270.81	2.03	1845	69.83	69.77
	25/06/2012	01/06/2012	547.7	5.8	10.3	26.42	272.13	2.01	1842	69.72	
8	25/06/2012	01/06/2012	545.8	5.7	10.27	25.52	262.07	2.08	1833	71.83	70.74
	25/06/2012	01/06/2012	546.8	5.8	10.3	26.42	272.13	2.01	1840	69.64	
9	25/06/2012	01/06/2012	546	5.7	10.3	25.52	262.83	2.08	1915	75.05	73.84
	25/06/2012	01/06/2012	549.8	5.8	10.3	26.42	272.13	2.02	1919	72.63	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

10	25/06/2012	01/06/2012	549.3	5.8	10.25	26.42	270.81	2.03	1860	70.4	73.02
	25/06/2012	01/06/2012	546	5.6	10.2	24.63	251.23	2.17	1863	75.64	
11	25/06/2012	01/06/2012	549.5	5.8	10.3	26.42	272.13	2.02	1852	70.1	70.13
	25/06/2012	01/06/2012	542.9	5.8	10.2	26.42	269.49	2.01	1854	70.17	
12	25/06/2012	01/06/2012	543.9	5.9	10.15	27.34	277.49	1.96	1898	69.42	71.78
	25/06/2012	01/06/2012	548.4	5.7	10.25	25.52	261.56	2.10	1892	74.14	
13	25/06/2012	01/06/2012	549.5	5.7	10.35	25.52	264.11	2.08	1820	71.32	71.42
	25/06/2012	01/06/2012	551.3	5.7	10.35	25.52	264.11	2.09	1825	71.52	
14	25/06/2012	01/06/2012	549.4	5.7	10.3	25.52	262.83	2.09	1800	70.54	71.35
	25/06/2012	01/06/2012	550.6	5.65	10.3	25.07	258.24	2.13	1809	72.15	
15	25/06/2012	01/06/2012	550.1	5.7	10.3	25.52	262.83	2.09	1848	72.42	72.98
	25/06/2012	01/06/2012	550.9	5.65	10.25	25.07	256.99	2.14	1844	73.55	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (7 DÍAS), Kg/cm²											72.08

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 19: Resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg.

CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (28 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	16/05/2012	13/06/2012	547.8	5.7	10.4	25.52	265.38	2.06	3788	148.45	148.52
	16/05/2012	13/06/2012	542.6	5.7	10.4	25.52	265.38	2.04	3792	148.6	
2	16/05/2012	13/06/2012	544.4	5.65	10.35	25.07	259.49	2.10	3452	137.68	136.64
	16/05/2012	13/06/2012	542.5	5.7	10.4	25.52	265.38	2.04	3460	135.59	
3	16/05/2012	13/06/2012	548.1	5.65	10.4	25.07	260.73	2.10	3750	149.58	148.31
	16/05/2012	13/06/2012	543.5	5.7	10.3	25.52	262.83	2.07	3752	147.04	
4	16/05/2012	13/06/2012	547.3	5.75	10.3	25.97	267.46	2.04	3333	128.35	129.45
	16/05/2012	13/06/2012	545.9	5.7	10.35	25.52	264.11	2.07	3331	130.54	
5	16/05/2012	13/06/2012	543.7	5.7	10.35	25.52	264.11	2.06	3981	156.01	156.11
	16/05/2012	13/06/2012	540.7	5.7	10.2	25.52	260.28	2.08	3986	156.21	
6	16/05/2012	13/06/2012	548.1	5.7	10.3	25.52	262.88	2.08	3262	127.83	140.55
	16/05/2012	13/06/2012	540.3	5.75	10.3	25.97	267.46	2.02	3980	153.27	
7	16/05/2012	13/06/2012	544.7	5.7	10.4	25.52	265.38	2.05	3978	155.89	140.97
	16/05/2012	13/06/2012	548.7	5.75	10.4	25.97	270.06	2.03	3273	126.04	
8	16/05/2012	13/06/2012	544.7	5.75	10.35	25.97	268.76	2.03	3328	128.16	129.13
	16/05/2012	13/06/2012	547.2	5.7	10.4	25.52	265.38	2.06	3320	130.11	
9	16/05/2012	13/06/2012	545.6	5.55	10.25	24.19	247.97	2.20	3666	151.54	147.39

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

	16/05/2012	13/06/2012	543.3	5.7	10.25	25.52	261.55	2.08	3655	143.23	
10	16/05/2012	13/06/2012	549.2	5.7	10.5	25.52	267.93	2.05	3267	128.03	129.03
	16/05/2012	13/06/2012	543.9	5.65	10.4	25.07	260.75	2.08	3260	130.03	
11	16/05/2012	13/06/2012	513.3	5.55	10.3	24.19	249.18	2.06	3466	143.28	148.92
	16/05/2012	13/06/2012	541.4	5.7	10.3	25.52	262.83	2.06	3944	154.55	
12	16/05/2012	13/06/2012	529.4	5.65	10.35	25.07	259.49	2.04	3389	135.18	140.29
	16/05/2012	13/06/2012	534.6	5.65	10.3	25.07	258.24	2.07	3645	145.39	
13	16/05/2012	13/06/2012	544	5.7	10.4	25.52	265.38	2.05	3250	127.35	130.68
	16/05/2012	13/06/2012	536.1	5.7	10.4	25.52	265.38	2.02	3420	134.01	
14	16/05/2012	13/06/2012	545.6	5.75	10.3	25.97	267.46	2.04	3860	148.63	147.10
	16/05/2012	13/06/2012	546.7	5.7	10.3	25.52	262.83	2.08	3715	145.57	
15	16/05/2012	13/06/2012	539.8	5.65	10.4	25.07	260.75	2.07	3341	133.27	136.08
	16/05/2012	13/06/2012	539.8	5.65	10.4	25.07	260.75	2.07	3482	138.89	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG (28 DÍAS), Kg/cm²											140.61

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 20: Resistencia a la compresión a los 3 días de especímenes cilíndricos de 3 pulg x 6 pulg.

CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (3 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	29/05/2012	01/06/2012	1747.80	8.60	15.30	58.09	888.75	1.97	1990.00	34.26	34.24
	29/05/2012	01/06/2012	1764.00	8.60	15.40	58.09	894.56	1.97	1988.00	34.22	
2	29/05/2012	01/06/2012	1735.60	8.65	15.35	58.77	902.05	1.92	1985.00	33.78	33.96
	29/05/2012	01/06/2012	1753.80	8.60	15.35	58.09	891.65	1.97	1983.00	34.14	
3	29/05/2012	01/06/2012	1764.00	8.55	15.35	57.41	881.32	2.00	1945.00	33.88	33.83
	29/05/2012	01/06/2012	1771.00	8.55	15.55	57.41	892.80	1.98	1940.00	33.79	
4	29/05/2012	01/06/2012	1747.80	8.65	15.40	58.77	904.99	1.93	1813.00	30.85	32.29
	29/05/2012	01/06/2012	1807.00	8.50	15.55	56.75	882.39	2.05	1914.00	33.73	
5	29/05/2012	01/06/2012	1698.30	8.60	15.25	58.09	885.84	1.92	1760.00	30.30	30.31
	29/05/2012	01/06/2012	1787.00	8.60	15.40	58.09	894.56	2.00	1761.00	30.32	
6	29/05/2012	01/06/2012	1747.60	8.50	15.20	56.75	862.53	2.03	1936.00	34.12	33.55
	29/05/2012	01/06/2012	1776.50	8.65	15.35	58.77	902.05	1.97	1938.00	32.98	
7	29/05/2012	01/06/2012	1778.00	8.60	15.45	58.09	897.46	1.98	1971.00	33.93	34.49
	29/05/2012	01/06/2012	1787.00	8.50	15.50	56.75	879.55	2.03	1989.00	35.05	
8	29/05/2012	01/06/2012	1757.10	8.55	15.15	57.41	869.83	2.02	1966.00	34.24	34.07
	29/05/2012	01/06/2012	1746.70	8.60	15.40	58.09	894.56	1.95	1969.00	33.90	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

9	29/05/2012	01/06/2012	1741.00	8.65	15.25	58.77	896.18	1.94	2010.00	34.20	34.38
	29/05/2012	01/06/2012	1781.20	8.60	15.60	58.09	906.18	1.96	2007.00	34.55	
10	29/05/2012	01/06/2012	1760.00	8.60	15.20	58.09	882.94	1.99	1767.00	30.42	30.63
	29/05/2012	01/06/2012	1744.00	8.55	15.65	57.41	898.54	1.94	1771.00	30.85	
11	29/05/2012	01/06/2012	1820.50	8.60	15.60	58.09	906.18	2.00	1918.00	33.02	32.77
	29/05/2012	01/06/2012	1775.00	8.65	15.40	58.77	904.99	1.96	1911.00	32.52	
12	29/05/2012	01/06/2012	1706.90	8.55	15.50	57.41	889.93	1.92	1766.00	30.76	30.55
	29/05/2012	01/06/2012	1761.60	8.60	15.40	58.09	894.56	1.97	1762.00	30.33	
13	29/05/2012	01/06/2012	1762.60	8.60	15.30	58.09	888.75	1.98	1901.00	32.73	33.47
	29/05/2012	01/06/2012	1740.00	8.60	15.15	58.09	880.04	1.98	1988.00	34.22	
14	29/05/2012	01/06/2012	1775.70	8.60	15.55	58.09	903.27	1.96	1755.00	30.21	30.38
	29/05/2012	01/06/2012	1709.00	8.55	15.55	57.41	892.80	1.91	1754.00	30.55	
15	29/05/2012	01/06/2012	1771.00	8.55	15.30	57.41	878.44	2.02	1958.00	34.10	34.23
	29/05/2012	01/06/2012	1789.50	8.50	15.35	56.75	871.04	2.05	1950.00	34.36	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (3 DÍAS), Kgf/cm².											32.88

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 21: Resistencia a la compresión a los 7 días de especímenes cilíndricos de 3 pulg x 6 pulg.

CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (7 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	30/05/2012	06/06/2012	1810.00	8.65	15.37	58.77	903.23	2.00	3830.00	65.17	64.43
	30/05/2012	06/06/2012	1796.00	8.75	15.27	60.13	918.22	1.96	3830.00	63.69	
2	30/05/2012	06/06/2012	1809.20	8.50	15.33	56.75	869.90	2.08	3650.00	64.32	63.62
	30/05/2012	06/06/2012	1813.50	8.60	15.40	58.09	894.56	2.03	3655.00	62.92	
3	30/05/2012	06/06/2012	1809.20	8.55	15.40	57.41	884.19	2.05	3736.00	65.07	64.73
	30/05/2012	06/06/2012	1812.10	8.60	15.43	58.09	896.30	2.02	3740.00	64.38	
4	30/05/2012	06/06/2012	1817.00	8.55	15.50	57.41	889.93	2.04	3689.00	64.25	63.87
	30/05/2012	06/06/2012	1826.50	8.60	15.67	58.09	910.24	2.01	3688.00	63.49	
5	30/05/2012	06/06/2012	1806.00	8.80	15.33	60.82	932.39	1.94	3805.00	62.56	64.06
	30/05/2012	06/06/2012	1800.00	8.60	15.37	58.09	892.82	2.02	3808.00	65.56	
6	30/05/2012	06/06/2012	1805.00	8.60	15.40	58.09	894.56	2.02	3803.00	65.47	65.85
	30/05/2012	06/06/2012	1795.50	8.55	15.30	57.41	878.44	2.04	3803.00	66.24	
7	30/05/2012	06/06/2012	1814.00	8.55	15.40	57.41	884.19	2.05	3515.00	61.22	62.96
	30/05/2012	06/06/2012	1815.00	8.30	15.37	54.11	831.61	2.18	3501.00	64.71	
8	30/05/2012	06/06/2012	1801.10	8.50	15.27	56.75	866.50	2.08	3740.00	65.91	64.40
	30/05/2012	06/06/2012	1797.40	8.70	15.20	59.45	903.59	1.99	3739.00	62.90	
9	30/05/2012	06/06/2012	1800.00	8.55	15.33	57.41	880.17	2.05	3571.00	62.20	62.55
	30/05/2012	06/06/2012	1810.00	8.50	15.27	56.75	866.50	2.09	3570.00	62.91	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

10	30/05/2012	06/06/2012	1800.00	8.60	15.23	58.09	884.68	2.03	3714.00	63.94	63.96
	30/05/2012	06/06/2012	1813.00	8.60	15.37	58.09	892.82	2.03	3717.00	63.99	
11	30/05/2012	06/06/2012	1816.50	8.80	15.37	60.82	934.82	1.94	3975.00	65.36	66.46
	30/05/2012	06/06/2012	1811.50	8.65	15.40	58.77	904.99	2.00	3970.00	67.56	
12	30/05/2012	06/06/2012	1801.00	8.60	15.37	58.09	892.82	2.02	3760.00	64.73	64.71
	30/05/2012	06/06/2012	1820.20	8.60	15.40	58.09	894.56	2.03	3758.00	64.69	
13	30/05/2012	06/06/2012	1809.50	8.65	15.35	58.77	902.05	2.01	3810.00	64.83	65.19
	30/05/2012	06/06/2012	1807.00	8.60	15.27	58.09	887.01	2.04	3808.00	65.56	
14	30/05/2012	06/06/2012	1801.00	8.65	15.27	58.77	897.35	2.01	3711.00	63.15	64.31
	30/05/2012	06/06/2012	1806.20	8.50	15.37	56.75	872.17	2.07	3715.00	65.47	
15	30/05/2012	06/06/2012	1805.60	8.45	15.40	56.08	863.62	2.09	3676.00	65.55	64.43
	30/05/2012	06/06/2012	1805.50	8.60	15.43	58.09	896.30	2.01	3677.00	63.30	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (7 DÍAS), Kg/cm².											64.37

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 22: Resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cilíndricos de 3 pulg x 6 pulg.

CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (28 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	16/05/2012	13/06/2012	1828.00	8.60	15.60	58.09	906.18	2.02	7700.00	132.56	128.51
	16/05/2012	13/06/2012	1839.50	8.60	15.60	58.09	906.18	2.03	7230.00	124.47	
2	16/05/2012	13/06/2012	1813.00	8.60	15.60	58.09	906.18	2.01	7680.00	132.21	128.72
	16/05/2012	13/06/2012	1819.20	8.55	15.60	57.41	895.67	2.03	7190.00	125.23	
3	16/05/2012	13/06/2012	1816.80	8.55	15.65	57.41	898.54	2.02	7650.00	133.24	130.75
	16/05/2012	13/06/2012	1840.80	8.60	15.90	58.09	923.60	1.99	7450.00	128.25	
4	16/05/2012	13/06/2012	1810.40	8.60	15.60	58.09	906.18	2.00	7610.00	131.01	131.43
	16/05/2012	13/06/2012	1821.50	8.55	15.65	57.41	898.54	2.03	7570.00	131.85	
5	16/05/2012	13/06/2012	1823.60	8.60	15.70	58.09	911.98	2.00	7170.00	123.43	129.73
	16/05/2012	13/06/2012	1829.50	8.55	15.65	57.41	898.54	2.04	7810.00	136.03	
6	16/05/2012	13/06/2012	1824.00	8.65	15.75	58.77	925.56	1.97	7070.00	120.31	128.31
	16/05/2012	13/06/2012	1802.00	8.65	15.50	58.77	910.87	1.98	8010.00	136.30	
7	16/05/2012	13/06/2012	1825.00	8.60	15.75	58.09	914.89	2.00	7500.00	129.11	129.87
	16/05/2012	13/06/2012	1821.00	8.55	15.60	57.41	895.67	2.03	7500.00	130.63	
8	16/05/2012	13/06/2012	1815.10	8.60	15.65	58.09	909.08	2.00	7450.00	128.25	133.45
	16/05/2012	13/06/2012	1820.00	8.55	15.60	57.41	895.67	2.03	7960.00	138.64	
9	16/05/2012	13/06/2012	1808.20	8.75	15.50	60.13	932.05	1.94	8630.00	143.52	122.89
	16/05/2012	13/06/2012	1824.00	8.60	15.45	58.09	897.46	2.03	5940.00	102.26	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

10	16/05/2012	13/06/2012	1807.50	8.60	15.55	58.09	903.27	2.00	6930.00	119.30	128.00
	16/05/2012	13/06/2012	1804.00	8.60	15.60	58.09	906.18	2.00	7940.00	136.69	
11	16/05/2012	13/06/2012	1821.70	8.65	15.60	58.77	916.74	1.99	7270.00	123.71	130.72
	16/05/2012	13/06/2012	1826.00	8.60	15.70	58.09	911.98	2.00	8000.00	137.72	
12	16/05/2012	13/06/2012	1845.70	8.60	15.90	58.09	923.60	2.00	8200.00	141.16	123.98
	16/05/2012	13/06/2012	1823.50	8.60	15.70	58.09	911.98	2.00	6204.00	106.80	
13	16/05/2012	13/06/2012	1817.00	8.60	15.55	58.09	903.27	2.01	6330.00	108.97	124.12
	16/05/2012	13/06/2012	1807.00	8.60	15.60	58.09	906.18	2.00	8090.00	139.27	
14	16/05/2012	13/06/2012	1824.50	8.55	15.70	57.41	901.41	2.02	8820.00	153.62	133.45
	16/05/2012	13/06/2012	1804.00	8.80	15.45	60.82	939.69	1.92	6890.00	113.28	
15	16/05/2012	13/06/2012	1827.00	8.55	15.60	57.41	895.67	2.04	8230.00	143.34	131.32
	16/05/2012	13/06/2012	1828.00	8.65	15.65	58.77	919.68	1.99	7010.00	119.29	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG (28 DÍAS), Kgf/cm².											129.02

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 23: Resistencia a la compresión a los 3 días de especímenes cúbicos de 2 pulg.

CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (3 DÍAS)									
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	LADO 1 (cm)	LADO 2 (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm²)
1	18/06/2012	21/06/2012	235	5.1	5.1	26.01	2073	79.70	79.56
	18/06/2012	21/06/2012	235.7	5.1	5.1	26.01	2074	79.74	
	18/06/2012	21/06/2012	232.2	5.1	5.1	26.01	2061	79.24	
2	18/06/2012	21/06/2012	234	5.1	5.1	26.01	1885	72.47	72.31
	18/06/2012	21/06/2012	234.3	5.1	5.1	26.01	1877	72.16	
	18/06/2012	21/06/2012	233.2	5.1	5.1	26.01	1880	72.28	
3	18/06/2012	21/06/2012	234.5	5.1	5.1	26.01	2133	82.01	82.14
	18/06/2012	21/06/2012	234.5	5.1	5.1	26.01	2139	82.24	
	18/06/2012	21/06/2012	233.6	5.1	5.1	26.01	2137	82.16	
4	18/06/2012	21/06/2012	234	5.1	5.1	26.01	1838	70.67	70.73
	18/06/2012	21/06/2012	233.9	5.1	5.1	26.01	1840	70.74	
	18/06/2012	21/06/2012	232.2	5.1	5.1	26.01	1841	70.78	
5	18/06/2012	21/06/2012	232.8	5.1	5.1	26.01	1950	74.97	74.77
	18/06/2012	21/06/2012	236.3	5.1	5.1	26.01	1940	74.59	
	18/06/2012	21/06/2012	234.5	5.1	5.1	26.01	1944	74.74	
6	18/06/2012	21/06/2012	240.5	5.1	5.1	26.01	2156	82.89	84.22
	18/06/2012	21/06/2012	237.7	5.1	5.1	26.01	2241	86.16	
	18/06/2012	21/06/2012	236.9	5.1	5.1	26.01	2175	83.62	
7	18/06/2012	21/06/2012	232.5	5.1	5.1	26.01	1863	71.63	71.72
	18/06/2012	21/06/2012	233.2	5.1	5.1	26.01	1869	71.86	
	18/06/2012	21/06/2012	230.4	5.1	5.1	26.01	1864	71.66	
8	18/06/2012	21/06/2012	235.7	5.1	5.1	26.01	1963	75.47	75.68
	18/06/2012	21/06/2012	235.6	5.1	5.1	26.01	1970	75.74	
	18/06/2012	21/06/2012	234.7	5.1	5.1	26.01	1972	75.82	
9	18/06/2012	21/06/2012	236.7	5.1	5.1	26.01	2138	82.20	82.29
	18/6/1012	21/06/2012	237.9	5.1	5.1	26.01	2140	82.28	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

	18/06/2012	21/06/2012	234.5	5.1	5.1	26.01	2143	82.39	
10	18/06/2012	21/06/2012	233.1	5.1	5.1	26.01	1890	72.66	72.66
	18/06/2012	21/06/2012	233.2	5.1	5.1	26.01	1889	72.63	
	18/06/2012	21/06/2012	233.1	5.1	5.1	26.01	1891	72.70	
11	19/06/2012	22/06/2012	236.1	5.1	5.1	26.01	1669	64.17	64.65
	19/06/2012	22/06/2012	236.1	5	5.1	25.5	1670	65.49	
	19/06/2012	22/06/2012	234.6	5.1	5.1	26.01	1672	64.28	
12	19/06/2012	22/06/2012	236.1	5.1	5.1	26.01	1680	64.59	64.58
	19/06/2012	22/06/2012	236.2	5.1	5.1	26.01	1677	64.48	
	19/06/2012	22/06/2012	233	5.1	5.1	26.01	1682	64.67	
13	19/06/2012	22/06/2012	239.3	5.1	5.1	26.01	1740	66.90	67.60
	19/06/2012	22/06/2012	234.6	5.1	5.1	26.01	1775	68.24	
	19/06/2012	22/06/2012	234.7	5.1	5.1	26.01	1760	67.67	
14	19/06/2012	22/06/2012	232.8	5.1	5.1	26.01	1680	64.59	64.89
	19/06/2012	22/06/2012	241.2	5.1	5	25.5	1678	65.80	
	19/06/2012	22/06/2012	233.3	5.1	5.1	26.01	1672	64.28	
15	19/06/2012	22/06/2012	232.3	5.1	5.1	26.01	1623	62.40	62.68
	19/06/2012	22/06/2012	237.9	5.1	5.1	26.01	1630	62.67	
	19/06/2012	22/06/2012	231.7	5.1	5.1	26.01	1638	62.98	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (3 DÍAS) , Kgf/cm².									72.70

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 24: Resistencia a la compresión a los 7 días de especímenes cúbicos de 2 pulg.

CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (7 DÍAS)									
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	LADO 1 (cm)	LADO 2 (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	12/06/2012	19/06/2012	233.2	5.1	5.1	26.01	2800	107.65	107.57
	12/06/2012	19/06/2012	233.1	5.1	5.1	26.01	2799	107.61	
	12/06/2012	19/06/2012	233.3	5.1	5.1	26.01	2795	107.46	
2	12/06/2012	19/06/2012	233.7	5.1	5.1	26.01	2650	101.88	102.38
	12/06/2012	19/06/2012	233.7	5.1	5.1	26.01	2673	102.77	
	12/06/2012	19/06/2012	233.7	5.1	5.1	26.01	2666	102.5	
3	12/06/2012	19/06/2012	234.4	5.1	5.1	26.01	2876	110.57	110.68
	12/06/2012	19/06/2012	233.2	5.1	5.1	26.01	2886	110.96	
	12/06/2012	19/06/2012	233.9	5.1	5.1	26.01	2874	110.5	
4	12/06/2012	19/06/2012	231.8	5.1	5.1	26.01	2652	101.96	101.47
	12/06/2012	19/06/2012	232.8	5.1	5.1	26.01	2637	101.38	
	12/06/2012	19/06/2012	232	5.1	5.1	26.01	2629	101.08	
5	13/06/2012	20/06/2012	237.4	5.1	5.1	26.01	3080	118.42	118.43
	13/06/2012	20/06/2012	238.5	5.1	5.1	26.01	3083	118.53	
	13/06/2012	20/06/2012	237.5	5.1	5.1	26.01	3078	118.34	
6	13/06/2012	20/06/2012	233.9	5.1	5.1	26.01	3019	116.07	116.06
	13/06/2012	20/06/2012	235.5	5.1	5.1	26.01	3016	115.96	
	13/06/2012	20/06/2012	235.5	5.1	5.1	26.01	3021	116.15	
7	13/06/2012	20/06/2012	235.5	5.1	5.1	26.01	3059	117.61	117.58
	13/06/2012	20/06/2012	238.3	5.1	5.1	26.01	3054	117.42	
	13/06/2012	20/06/2012	235.6	5.1	5.1	26.01	3062	117.72	
8	13/06/2012	20/06/2012	258.9	5.1	5.1	26.01	2857	109.84	109.89
	13/06/2012	20/06/2012	265.8	5.1	5.1	26.01	2858	109.88	
	13/06/2012	20/06/2012	257.1	5.1	5.1	26.01	2860	109.96	
9	13/06/2012	20/06/2012	233.4	5.1	5.1	26.01	2753	105.84	105.95
	13/06/2012	20/06/2012	235	5.1	5.1	26.01	2759	106.07	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

	13/06/2012	20/06/2012	234.8	5.1	5.1	26.01	2755	105.92	
10	13/06/2012	20/06/2012	235.9	5.1	5.1	26.01	3140	120.72	120.67
	13/06/2012	20/06/2012	236.9	5.1	5.1	26.01	3137	120.61	
	13/06/2012	20/06/2012	236.8	5.1	5.1	26.01	3139	120.68	
11	13/06/2012	20/06/2012	235.4	5.1	5.1	26.01	3178	122.18	121.35
	13/06/2012	20/06/2012	234.9	5.1	5.1	26.01	3156	121.34	
	13/06/2012	20/06/2012	235.7	5.1	5.1	26.01	3135	120.53	
12	13/06/2012	20/06/2012	237.7	5.1	5.1	26.01	2991	114.99	114.93
	13/06/2012	20/06/2012	236.6	5.1	5.1	26.01	2989	114.92	
	13/06/2012	20/06/2012	236.5	5.1	5.1	26.01	2988	114.88	
13	13/06/2012	20/06/2012	236.1	5.1	5.1	26.01	2878	110.65	110.74
	13/06/2012	20/06/2012	235.6	5.1	5.1	26.01	2879	110.69	
	13/06/2012	20/06/2012	234.6	5.1	5.1	26.01	2884	110.88	
14	13/06/2012	20/06/2012	235	5.1	5.1	26.01	2916	112.11	112
	13/06/2012	20/06/2012	235.4	5.1	5.1	26.01	2910	111.88	
	13/06/2012	20/06/2012	235.9	5.1	5.1	26.01	2913	112	
15	13/06/2012	20/06/2012	236.6	5.1	5.1	26.01	2880	110.73	110.8
	13/06/2012	20/06/2012	236.2	5.1	5.1	26.01	2877	110.61	
	13/06/2012	20/06/2012	227.8	5.1	5.1	26.01	2889	111.07	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (7 DÍAS) , Kgf/cm².									112.03

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 25: Resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cúbicos de 2 pulg.

CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (28 DÍAS)									
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	LADO 1 (cm)	LADO 2 (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm²)
1	11/06/2012	09/07/2012	241.4	5.1	5.1	26.01	4945	190.12	189.99
	11/06/2012	09/07/2012	240.4	5.1	5.1	26.01	5010	192.62	
	11/06/2012	09/07/2012	241.2	5.1	5.1	26.01	4870	187.24	
2	11/06/2012	09/07/2012	239.9	5.1	5.1	26.01	5540	213	202.23
	11/06/2012	09/07/2012	240.9	5.1	5.1	26.01	5010	192.62	
	11/06/2012	09/07/2012	239.8	5.1	5.1	26.01	5230	201.08	
3	11/06/2012	09/07/2012	262.8	5.1	5.1	26.01	4740	182.24	201.72
	11/06/2012	09/07/2012	241.1	5.1	5.1	26.01	5500	211.46	
	11/06/2012	09/07/2012	243.7	5.1	5.1	26.01	5500	211.46	
4	11/06/2012	09/07/2012	245.2	5.1	5.1	26.01	5810	223.38	201.59
	11/06/2012	09/07/2012	264.3	5.1	5.1	26.01	5230	201.08	
	11/06/2012	09/07/2012	260.4	5.1	5.1	26.01	4690	180.32	
5	11/06/2012	09/07/2012	235.9	5.1	5.1	26.01	4280	164.55	170.96
	11/06/2012	09/07/2012	236	5.1	5.1	26.01	4750	182.62	
	11/06/2012	09/07/2012	236.1	5.1	5.1	26.01	4310	165.71	
6	11/06/2012	09/07/2012	242.1	5.1	5.1	26.01	5150	198	207.16
	11/06/2012	09/07/2012	240.9	5.1	5.1	26.01	5005	192.43	
	11/06/2012	09/07/2012	246.8	5.1	5.1	26.01	6010	231.06	
7	11/06/2012	09/07/2012	241.1	5.1	5.1	26.01	5040	193.77	186.47
	11/06/2012	09/07/2012	239.6	5.1	5.1	26.01	4680	179.93	
	11/06/2012	09/07/2012	243	5.1	5.1	26.01	4830	185.7	
8	11/06/2012	09/07/2012	235.9	5.1	5.1	26.01	4590	176.47	174.68
	11/06/2012	09/07/2012	236	5.1	5.1	26.01	4700	180.7	
	11/06/2012	09/07/2012	236.5	5.1	5.1	26.01	4340	166.86	
9	11/06/2012	09/07/2012	239.8	5.1	5.1	26.01	5180	199.15	187.11
	11/06/2012	09/07/2012	240.8	5.1	5.1	26.01	5010	192.62	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

	11/06/2012	09/07/2012	237.7	5.1	5.1	26.01	4410	169.55	
10	11/06/2012	09/07/2012	238.5	5.1	5.1	26.01	4780	183.78	177.37
	11/06/2012	09/07/2012	237	5.1	5.1	26.01	4690	180.32	
	11/06/2012	09/07/2012	238.1	5.1	5.1	26.01	4370	168.01	
11	11/06/2012	09/07/2012	238.6	5.1	5.1	26.01	4590	176.47	173.01
	11/06/2012	09/07/2012	238.7	5.1	5.1	26.01	4690	180.32	
	11/06/2012	09/07/2012	237.8	5.1	5.1	26.01	4220	162.25	
12	12/06/2012	10/07/2012	260.8	5.1	5.1	26.01	4270	164.17	166.47
	12/06/2012	10/07/2012	258.7	5.1	5.1	26.01	4500	173.01	
	12/06/2012	10/07/2012	257.1	5.1	5.1	26.01	4220	162.25	
13	12/06/2012	10/07/2012	235.2	5.1	5.1	26.01	4460	171.47	167.88
	12/06/2012	10/07/2012	234.3	5.1	5.1	26.01	4260	163.78	
	12/06/2012	10/07/2012	235.3	5.1	5.1	26.01	4380	168.4	
14	12/06/2012	10/07/2012	237	5.1	5.1	26.01	3890	149.56	158.66
	12/06/2012	10/07/2012	237.1	5.1	5.1	26.01	4550	174.93	
	12/06/2012	10/07/2012	233.7	5.1	5.1	26.01	3940	151.48	
15	12/06/2012	10/07/2012	235.5	5.1	5.1	26.01	4480	172.24	173.14
	12/06/2012	10/07/2012	234.3	5.1	5.1	26.01	4550	174.93	
	12/06/2012	10/07/2012	237.1	5.1	5.1	26.01	4480	172.24	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG (28 DÍAS) Kg/cm².									182.56

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE MORTERO DE 6 PULG X 12 PULG.

Para determinar la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de mortero de 6 pulg x 12 pulg, se ha tomado como guía la norma ASTM C 31 en el proceso de elaboración de especímenes y la ASTM C39 en el ensayo de la resistencia a la compresión.

MODELO DE CÁLCULO

De la misma forma, para evaluar la resistencia a la compresión de mortero se realizará en 2 etapas, una en condiciones de laboratorio y otra de campo. Para la condición de laboratorio se elaboraron 2 cilindros de 6 pulg x 12 pulg. Para la condición de campo se elaboraron 30 cilindros 6 pulg x 12 pulg, en ambas condiciones se elaboraron los especímenes antes mencionados para cada uno de las edades a evaluar 3, 7 y 28 días.

TABULACIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos, después de un largo proceso para la elaboración, curado y sometimiento de los especímenes al ensayo de compresión.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 26: Resistencia a la compresión a los 3 días de especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg.

CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG (3 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	05/06/2012	08/06/2012	9899.60	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.83	7145.00	40.16	40.29
	05/06/2012	08/06/2012	10041.00	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.87	7143.00	40.42	
2	05/06/2012	08/06/2012	10492.00	15.25	30.50	182.65	5570.96	1.88	7493.00	41.02	41.57
	05/06/2012	08/06/2012	10179.50	15.05	30.40	177.90	5408.01	1.88	7492.00	42.11	
3	05/06/2012	08/06/2012	11260.00	15.05	30.40	177.90	5408.01	2.08	7706.00	43.32	43.33
	05/06/2012	08/06/2012	9799.60	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.81	7709.00	43.33	
4	05/06/2012	08/06/2012	10325.00	15.10	30.45	179.08	5452.96	1.89	7664.00	42.80	42.95
	05/06/2012	08/06/2012	11307.50	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.09	7668.00	43.10	
5	05/06/2012	08/06/2012	10348.20	15.05	30.50	177.90	5425.80	1.91	7820.00	43.96	43.97
	05/06/2012	08/06/2012	10394.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.92	7825.00	43.99	
6	05/06/2012	08/06/2012	10393.20	15.25	30.45	182.65	5561.83	1.87	7933.00	43.43	44.00
	05/06/2012	08/06/2012	10119.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.87	7930.00	44.58	
7	05/06/2012	08/06/2012	10249.00	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.90	7705.00	43.60	43.02
	05/06/2012	08/06/2012	10356.00	15.20	30.45	181.46	5525.42	1.87	7701.00	42.44	
8	05/06/2012	08/06/2012	10366.00	15.20	30.45	181.46	5525.42	1.88	7506.00	41.36	41.92
	05/06/2012	08/06/2012	10261.70	15.00	30.50	176.72	5389.81	1.90	7506.00	42.48	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

9	05/06/2012	08/06/2012	11261.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	2.05	7758.00	43.04	43.46
	05/06/2012	08/06/2012	9900.80	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.84	7756.00	43.89	
10	05/06/2012	08/06/2012	10337.00	15.00	30.50	176.72	5389.81	1.92	7280.00	41.20	41.22
	05/06/2012	08/06/2012	10409.00	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.93	7290.00	41.25	
11	05/06/2012	08/06/2012	9801.30	15.00	30.40	176.72	5372.14	1.82	7530.00	42.61	42.58
	05/06/2012	08/06/2012	10136.60	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.88	7520.00	42.55	
12	05/06/2012	08/06/2012	11275.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.08	8178.00	45.97	45.53
	05/06/2012	08/06/2012	10517.00	15.20	30.45	181.46	5525.42	1.90	8180.00	45.08	
13	05/06/2012	08/06/2012	10549.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	1.92	8001.00	44.38	44.54
	05/06/2012	08/06/2012	10285.20	15.10	30.50	179.08	5461.91	1.88	8003.00	44.69	
14	05/06/2012	08/06/2012	9899.20	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.84	7500.00	42.44	42.17
	05/06/2012	08/06/2012	9813.90	15.10	30.40	179.08	5444.00	1.80	7503.00	41.90	
15	05/06/2012	08/06/2012	9829.00	15.10	30.40	179.08	5444.00	1.81	7135.00	39.84	40.12
	05/06/2012	08/06/2012	9917.50	15.00	30.45	176.72	5380.97	1.84	7139.00	40.40	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG (3 DÍAS) ,Kgf/cm².											42.71

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 27: Resistencia a la Compresión a los 7 días de especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg.

CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG (7 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	30/05/2012	06/06/2012	11098.60	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.05	7970.00	44.80	44.79
	30/05/2012	06/06/2012	11098.00	15.05	30.40	177.90	5408.01	2.05	7966.00	44.78	
2	30/05/2012	06/06/2012	11514.00	15.20	30.45	181.46	5525.42	2.08	8050.00	44.36	44.50
	30/05/2012	06/06/2012	10770.00	15.15	30.50	180.27	5498.14	1.96	8048.00	44.64	
3	30/05/2012	06/06/2012	11457.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	2.09	8418.00	46.70	46.87
	30/05/2012	06/06/2012	10616.50	15.10	30.50	179.08	5461.91	1.94	8425.00	47.05	
4	30/05/2012	06/06/2012	11191.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.07	7793.00	43.81	43.53
	30/05/2012	06/06/2012	10634.00	15.15	30.50	180.27	5498.14	1.93	7796.00	43.25	
5	30/05/2012	06/06/2012	11255.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.07	8175.00	45.95	45.79
	30/05/2012	06/06/2012	10872.50	15.10	30.40	179.08	5444.00	2.00	8170.00	45.62	
6	30/05/2012	06/06/2012	11359.00	15.00	30.50	176.72	5389.81	2.11	7845.00	44.39	44.19
	30/05/2012	06/06/2012	10956.20	15.10	30.35	179.08	5435.05	2.02	7877.00	43.99	
7	30/05/2012	06/06/2012	11151.00	15.05	30.40	177.90	5408.01	2.06	8009.00	45.02	45.00
	30/05/2012	06/06/2012	11012.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.03	8001.00	44.98	
8	30/05/2012	06/06/2012	11402.10	15.15	30.50	180.27	5498.14	2.07	7860.00	43.60	44.31
	30/05/2012	06/06/2012	11080.00	14.95	30.50	175.54	5353.94	2.07	7904.00	45.03	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

9	30/05/2012	06/06/2012	11418.00	15.15	30.40	180.27	5480.12	2.08	8055.00	44.68	44.81
	30/05/2012	06/06/2012	11064.00	15.15	30.55	180.27	5507.16	2.01	8101.00	44.94	
10	30/05/2012	06/06/2012	11492.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	2.09	8115.00	45.02	44.97
	30/05/2012	06/06/2012	10005.00	15.15	30.50	180.27	5498.14	1.82	8099.00	44.93	
11	30/05/2012	06/06/2012	9893.30	15.00	30.40	176.72	5372.14	1.84	13870.00	78.49	70.91
	30/05/2012	06/06/2012	9808.80	15.00	30.35	176.72	5363.30	1.83	11190.00	63.32	
12	30/05/2012	06/06/2012	9889.00	15.05	30.35	177.90	5399.12	1.83	13640.00	76.67	69.25
	30/05/2012	06/06/2012	9877.80	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.82	11000.00	61.83	
13	30/05/2012	06/06/2012	9875.00	15.05	30.55	177.90	5434.69	1.82	11900.00	66.89	67.91
	30/05/2012	06/06/2012	9889.00	15.00	30.35	176.72	5363.30	1.84	12180.00	68.92	
14	30/05/2012	06/06/2012	9867.30	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.82	13870.00	77.97	81.17
	30/05/2012	06/06/2012	9951.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.84	15010.00	84.38	
15	30/05/2012	06/06/2012	9868.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	1.82	11280.00	63.41	61.98
	30/05/2012	06/06/2012	9873.00	15.00	30.40	176.72	5372.14	1.84	10700.00	60.55	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG (7 DÍAS), Kgf/cm².											53.33

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 28: Resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cilíndricas de 6 pulg x 12 pulg.

CILINDROS DE 6 PULG x12 PULG (28 DÍAS).											
Nº	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	PESO (g)	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	CARGA (Kgf)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)	PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm ²)
1	24/05/2012	21/06/2012	11057.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.04	16590.00	93.26	92.95
	24/05/2012	21/06/2012	11092.00	15.10	30.50	179.08	5461.91	2.03	16589.00	92.64	
2	24/05/2012	21/06/2012	11092.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	2.02	16285.00	90.34	90.60
	24/05/2012	21/06/2012	11077.00	15.10	30.45	179.08	5452.96	2.03	16270.00	90.85	
3	24/05/2012	21/06/2012	11089.50	15.00	30.45	176.72	5380.97	2.06	15255.00	86.33	86.05
	24/05/2012	21/06/2012	11204.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.06	15260.00	85.78	
4	24/05/2012	21/06/2012	11095.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.04	15039.00	84.54	84.26
	24/05/2012	21/06/2012	11019.50	15.10	30.45	179.08	5452.96	2.02	15041.00	83.99	
5	24/05/2012	21/06/2012	11135.00	15.10	30.40	179.08	5444.00	2.05	14344.00	80.10	80.65
	24/05/2012	21/06/2012	11011.00	15.00	30.45	176.72	5380.97	2.05	14349.00	81.20	
6	24/05/2012	21/06/2012	11014.00	15.10	30.50	179.08	5461.91	2.02	17215.00	96.13	96.82
	24/05/2012	21/06/2012	11008.00	15.00	30.40	176.72	5372.14	2.05	17230.00	97.50	
7	24/05/2012	21/06/2012	10884.00	14.95	30.50	175.54	5353.94	2.03	17344.00	98.80	97.84
	24/05/2012	21/06/2012	11126.00	15.10	30.40	179.08	5444.00	2.04	17349.00	96.88	
8	24/05/2012	21/06/2012	10970.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.03	15595.00	87.66	87.65
	24/05/2012	21/06/2012	11144.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	2.05	15589.00	87.63	

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

9	24/05/2012	21/06/2012	11010.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.03	14245.00	80.08	80.15
	24/05/2012	21/06/2012	11360.00	15.10	30.50	179.08	5461.91	2.08	14368.00	80.23	
10	24/05/2012	21/06/2012	11032.50	15.00	30.50	176.72	5389.81	2.05	15520.00	87.83	87.24
	24/05/2012	21/06/2012	11289.00	15.10	30.45	179.08	5452.96	2.07	15519.00	86.66	
11	24/05/2012	21/06/2012	11100.50	15.00	30.45	176.72	5380.97	2.06	15853.00	89.71	89.40
	24/05/2012	21/06/2012	11126.00	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.05	15848.00	89.09	
12	24/05/2012	21/06/2012	11012.00	15.10	30.50	179.08	5461.91	2.02	16158.00	90.23	90.21
	24/05/2012	21/06/2012	11165.00	15.10	30.50	179.08	5461.91	2.04	16151.00	90.19	
13	24/05/2012	21/06/2012	10999.50	15.05	30.45	177.90	5416.90	2.03	16184.00	90.97	90.36
	24/05/2012	21/06/2012	11194.50	15.15	30.50	180.27	5498.14	2.04	16178.00	89.74	
14	24/05/2012	21/06/2012	11192.00	15.15	30.45	180.27	5489.13	2.04	15933.00	88.39	88.38
	24/05/2012	21/06/2012	10629.00	15.15	30.50	180.27	5498.14	1.93	15930.00	88.37	
15	24/05/2012	21/06/2012	11192.00	15.10	30.45	179.08	5452.96	2.05	16041.00	89.57	89.86
	24/05/2012	21/06/2012	10689.00	15.05	30.50	177.90	5425.80	1.97	16038.00	90.15	
PROMEDIO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG (28 DÍAS) ,Kgf/cm².											88.83

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

4.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO ELABORADOS SEGÚN LABORATORIO

Tabla 29: Resistencia a la compresión en laboratorio a los 3 días en cubos de 2 pulg.

PROPORCIÓN										
CEMENTO			ARENA				AGUA,(ml.)			
576.9 gr.			1821.15 gr.				181			
% DE FLUIDEZ:			111							
CUBO #	Fecha de ruptura	EDAD (días)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Esfuerzo Mpa	Promedio Mpa
1	17/05/2012	3	5.10	5.10	26.01	2370.00	91.12	91.5	9.29	9.33
2			5.10	5.10	26.01	2360.00	90.73		9.25	
3			5.10	5.10	26.01	2410.00	92.66		9.45	

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Tabla 30: Resistencia a la compresión en laboratorio a los 7 días en cubos de 2 pulg.

PROPORCIÓN										
CEMENTO			ARENA				AGUA,(ml.)			
576.9 gr.			1821.15 gr.				183			
% DE FLUIDEZ:			102							
CUBO #	Fecha de ruptura	EDAD (días)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Esfuerzo Mpa	Promedio Mpa
1	16/05/2012	7	5.10	5.10	26.01	3770.00	144.94	150.30	14.78	15.32
2			5.00	5.10	25.50	3900.00	152.94		15.59	
3			5.10	5.10	26.01	3980.00	153.02		15.60	

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 31: Resistencia a la compresión en laboratorio a los 28 días en cubos de 2 pulg.

PROPORCIÓN										
CEMENTO			ARENA				AGUA,(ml.)			
576.9 gr.			1821.15 gr.				183			
% DE FLUIDEZ:			103							
CUBO #	Fecha de ruptura	EDAD (días)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Esfuerzo Mpa	Promedio Mpa
1	06/06/2012	28	5.10	5.10	26.01	5450.00	209.53	218.34	21.36	22.26
2			5.00	5.10	25.50	5801.00	227.49		23.19	
3			5.10	5.10	26.01	5670.00	217.99		22.22	

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Tabla 32: Resistencia a la compresión en laboratorio a los 3 días en especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y 2 pulg x 4 pulg.

PROPORCIÓN													
CEMENTO		576.9 gr.			ARENA		1821.15 gr.			AGUA		375	
No.	FECHA DE COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	FLUIDEZ	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PESO VOLUMETRICO (g/cm ³)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
1	14/05/2012	17/05/2012	3	115	15.10	30.50	179.08	10745.00	1.97	5320.00	29.71	32.08	5
2	14/05/2012	17/05/2012	3	115	15.10	30.50	179.08	10729.00	1.96	6170.00	34.45		5
1	14/05/2012	17/05/2012	3	115	8.60	17.60	58.09	1975.00	1.93	2875.00	49.49	47.48	5
2	14/05/2012	17/05/2012	3	115	8.65	17.60	58.77	1960.00	1.90	2672.00	45.47		5

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

1	14/05/2012	17/05/2012	3	115	5.85	11.50	26.88	595.60	1.93	1760.00	65.48	63.85	3
2	14/05/2012	17/05/2012	3	115	5.65	11.60	25.07	600.80	2.07	1560.00	62.22		3

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Tabla 33: Resistencia a la compresión en laboratorio a los 7 días en especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y 2 pulg x 4 pulg.

PROPORCIÓN													
CEMENTO		384.6 gr.		ARENA			1241.01 gr.		AGUA			181 ml.	
No.	FECHA DE COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	FLUIDEZ	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PESO VOLUMETRICO (g/cm ³)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
1	09/05/2012	16/05/2012	7	108	15.20	30.60	181.46	10938.00	1.97	12415.00	68.42		3
2	09/05/2012	16/05/2012	7	108	15.20	30.50	181.46	10971.00	1.98	12890.00	71.04		5
												69.73	
1	09/05/2012	16/05/2012	7	108	8.35	17.50	54.76	2028.00	2.12	4840.00	88.39		5
2	09/05/2012	16/05/2012	7	108	8.55	17.55	57.41	1972.00	1.96	4810.00	83.78		5
												86.08	
1	09/05/2012	16/05/2012	7	108	5.70	11.55	25.52	610.30	2.07	2680.00	105.03		5
2	09/05/2012	16/05/2012	7	108	5.80	11.65	26.42	606.90	1.97	2413.00	91.33		5
												98.18	

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 34: Resistencia a la Compresión en laboratorio a los 28 días en especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg, 3 pulg x 6 pulg y 2 pulg x 4 pulg.

PROPORCIÓN													
CEMENTO		384.6 gr.		ARENA			1241.01 gr.		AGUA			181 ml.	
No.	FECHA DE COLADO	FECHA RUPTURA	EDAD (días)	FLUIDEZ	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	PESO (g)	PESO VOLUMETRICO (g/cm ³)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
1	09/05/2012	06/06/2012	28	108	15.10	30.40	179.08	10390.00	1.91	22250.00	124.25	126.84	3
2	09/05/2012	06/06/2012	28	108	15.10	30.50	179.08	10996.00	2.01	23180.00	129.44		3
1	09/05/2012	06/06/2012	28	108	8.55	16.90	57.41	1958.00	2.02	8238.00	143.48	146.74	5
2	09/05/2012	06/06/2012	28	108	8.55	17.63	57.41	2037.00	2.01	8612.00	150.00		5
1	09/05/2012	06/06/2012	28	108	5.70	11.50	25.52	604.00	2.06	3875.00	151.86	154.50	5
2	09/05/2012	06/06/2012	28	108	5.70	11.60	25.52	608.00	2.05	4010.00	157.15		5

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

ANÁLISIS

La resistencia a la compresión obtenida para cada muestra de dos especímenes, se encuentra dentro del rango del 10% de variación dentro del promedio, para cada período, que plantea la norma ASTM C 780 en su sección A7.9, tanto para especímenes cilíndricos como para cúbicos.

Las fallas presentadas por los especímenes de 2 pulg x 4 pulg varían entre la falla 3, 4 y 5 (**ver figuras 43 y 49**).

Las fallas mostradas por los especímenes de 3 pulg x 6 pulg varían entre las fallas 3, 5 y 6, presentándose 2 especímenes en los que se produce una falla por partidura. (**Ver figura 43 y figura 62**).

Figura 62: Falla por partidura en cilindro de mortero.



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Las fallas observadas en los especímenes de 6 pulg x 12 pulg varían en su mayoría entre las fallas 3, 4, 5 y 6, presentándose una pequeña cantidad de la falla 2.

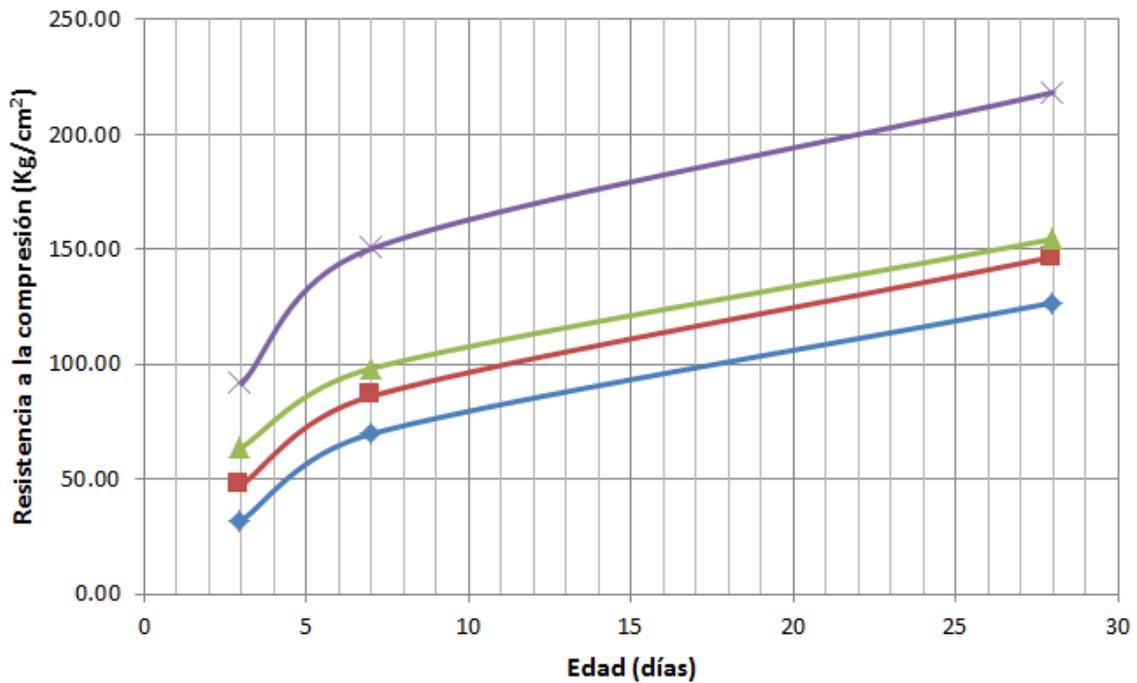
A continuación se presenta en la tabla 34 y tabla 35 el promedio de la resistencia obtenida por cada uno de los especímenes en sus diferentes formas y tamaños, descritos en cada una de las edades que corresponden a cada ensayo.

Tabla 35: Promedio por edades de la resistencia a la compresión en laboratorio.

TABLA DE PROMEDIOS POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN LABORATORIO				
EDAD DE RUPTURA	Cilindros 6 pulg x 12 pulg	Cilindros 3 pulg x 6 pulg	Cilindros 2 pulg x 4 pulg	Cubos 2 pulg
3	32.08	47.48	63.85	91.50
7	69.73	86.08	98.18	150.30
28	126.84	146.74	154.50	218.34

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Figura 63: Promedio por edades de la resistencia a la compresión en laboratorio. PROMEDIOS POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN LABORATORIO



	3	7	28
—◆— Cilindros 6"x12"	32.08	69.73	126.84
—■— Cilindros 3"x6"	47.48	86.08	146.74
—▲— Cilindros 2"x4"	63.85	98.18	154.50
—×— Cubos 2"	91.50	150.30	218.34

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 36: Promedio por edades de la resistencia a la compresión en campo.

TABLA DE PROMEDIOS POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SEGÚN CAMPO				
EDAD DE RUPTURA	Cilindros 6 pulg x 12 pulg	Cilindros 3 pulg x 6 pulg	Cilindros 2 pulg x 4 pulg	Cubos 2 pulg
3	42.71	32.88	37.18	72.70
7	53.33	64.37	72.08	112.03
28	88.83	129.02	140.61	182.56

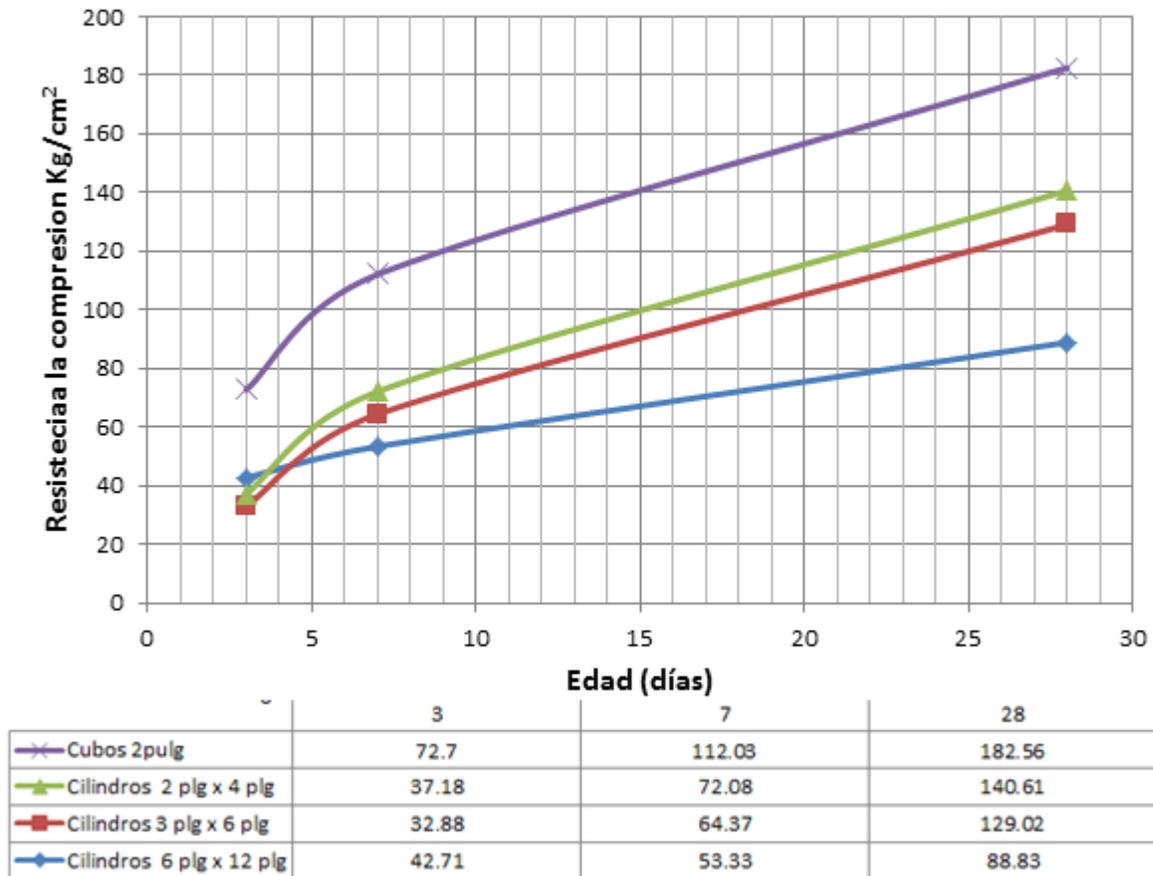
Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

Tabla 37: Resumen de la Resistencia a la Compresión de los especímenes de prueba.

EDAD	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
CILINDROS DE 6 PULG x 12 PULG.			
3 DIAS	42.71	1.54	3.61
7 DIAS	53.33	13.06	24.49
28 DIAS	88.83	4.90	5.52
CILINDROS DE 3 PULG x 6 PULG.			
3 DIAS	32.88	1.66	5.06
7 DIAS	64.37	1.36	2.12
28 DIAS	129.02	11.56	8.96
CILINDROS DE 2 PULG x 4 PULG.			
3 DIAS	37.18	0.64	1.72
7 DIAS	72.08	1.97	2.73
28 DIAS	140.61	10.28	7.31
CUBOS DE 2 PULG x 2 PULG.			
3 DIAS	72.70	6.91	9.51
7 DIAS	112.03	6.01	5.36
28 DIAS	182.56	17.89	9.80

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

**Figura 64: Promedios por edades de la resistencia a la compresión en campo.
PROMEDIOS POR EDADES DE LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN SEGÚN CAMPO**



Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:

Los valores obtenidos de la resistencia a la compresión, reflejan que los procedimientos de laboratorio se han realizado de acuerdo a la norma, se puede verificar en la tabulación de los datos que los cilindros de 6 pulg x 12 pulg, presentan relativamente las resistencias más bajas; los cilindros de 2 pulg x 4 pulg desarrollan resistencias comparativamente superiores a los cilindros de 3 pulg x 6 pulg, siendo los cubos de 2 pulg los que presentan las resistencias más altas en cada una de las edades de prueba.

CILINDROS SEGÚN CAMPO

Se calculó el porcentaje de variación que tenía cada uno de los especímenes cilíndricos y cúbicos, tomando como el 100% la resistencia a la compresión del mortero alcanzada a los 28 días.

$$\begin{array}{r}
 100\% \quad \text{—————} \quad 88.83 \\
 X \quad \quad \quad \text{—————} \quad 42.71 \\
 \frac{42.71 \cdot 100}{88.83} = 48.08
 \end{array}$$

X = 48.08%

Tabla 38: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión.

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EDAD DE RUPTURA	CILINDROS 6 pulg x 12 pulg	CILINDROS 3 pulg x 6 pulg	CILINDROS 2 pulg x 4 pulg	CUBOS 2 pulg x 2 pulg
3	48.08%	25.48%	26.44%	39.82%
7	60.04%	49.89%	51.26%	61.37%
28	100%	100%	100%	100%

Fuente: Grupo ejecutor de la investigación

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (LABORATORIO VERSUS CAMPO)

Se aplicaron los procedimientos establecidos por la norma ASTM C780 para evaluar la resistencia a la compresión del mortero elaborado en condiciones de campo. Pero, ¿Qué pasa cuando se elabora en condiciones de laboratorio? ¿Qué tanto puede variar la resistencia a la compresión? A pesar que el fin de la investigación no es este, se propuso elaborar dos ensayos en condiciones de laboratorio por cada espécimen para la edad de 3, 7 y 28 días, para ser comparados con los resultados obtenidos según condiciones de campo, esto con el fin de verificar como varía la resistencia a la compresión en estas dos condiciones. Los resultados se presentan en la **TABLA 39**.

Tabla 39: Comparación de resultados en laboratorio y campo.

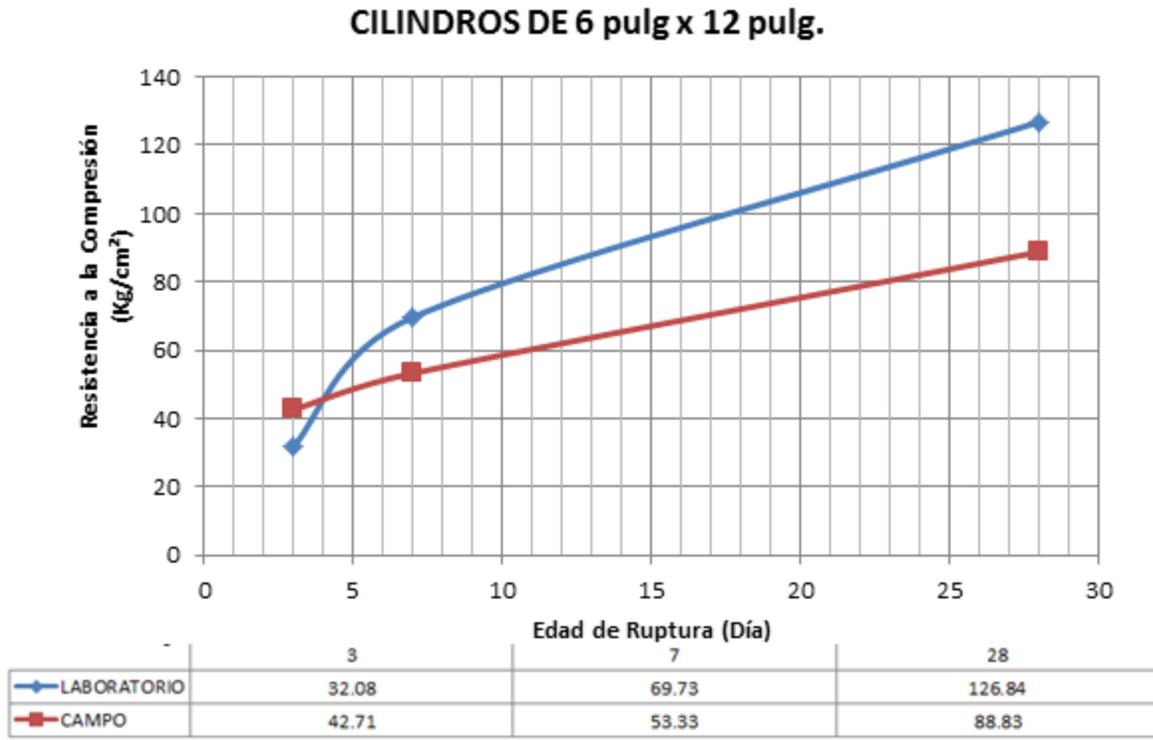
Comparación entre resultados obtenidos en laboratorio y en campo								
Edad de Ruptura	Cilindros 6 pulg x12 pulg		Cilindros 3 pulg x 6pulg		Cilindros 2 pulg x 4 pulg		Cubos 2 pulg x 2 pulg	
	Laboratorio (kg/cm ²)	Campo (kg/cm ²)	Laboratorio (kg/cm ²)	Campo (kg/cm ²)	Laboratorio (kg/cm ²)	Campo (kg/cm ²)	Laboratorio (kg/cm ²)	Campo (kg/cm ²)
3	32.08	42.71	47.48	32.88	63.85	37.18	91.5	72.7
7	69.73	53.33	86.08	64.37	98.18	72.08	150.3	112.03
28	126.84	88.83	146.74	129.02	154.5	140.61	218.34	182.56

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

Como puede verse en la **TABLA 39**, los resultados obtenidos en condiciones de campo son más bajos que los obtenidos en condiciones de laboratorio. Para tener una mejor visualización de estos, se ha graficado la resistencia obtenida en condiciones de laboratorio y campo, para cada espécimen.

En la **figura 65** se presenta la gráfica comparativa de los resultados obtenidos para el cilindro de 6 pulg x 12 pulg. Esta presenta una excepción, ya que a la edad de 3 días se obtuvo una resistencia mayor en condiciones de campo que en laboratorio, con una diferencia de 10.63 kg/cm². Luego para la edad de 7 días cambia la tendencia y la resistencia obtenida en laboratorio es mayor, con una diferencia de 12.17 kg/cm², lo mismo ocurre para la edad de 28 días en donde predominan las condiciones de laboratorio con una diferencia de 38.06 kg/cm². Tomando solo como referencia las edades de 7 y 28 días se establece que el porcentaje promedio de variación entre ambas resistencias es de 32%, predominando la resistencia obtenida en laboratorio.

Figura 65: Laboratorio versus Campo (Cilindros 6 pulg x 12 pulg).

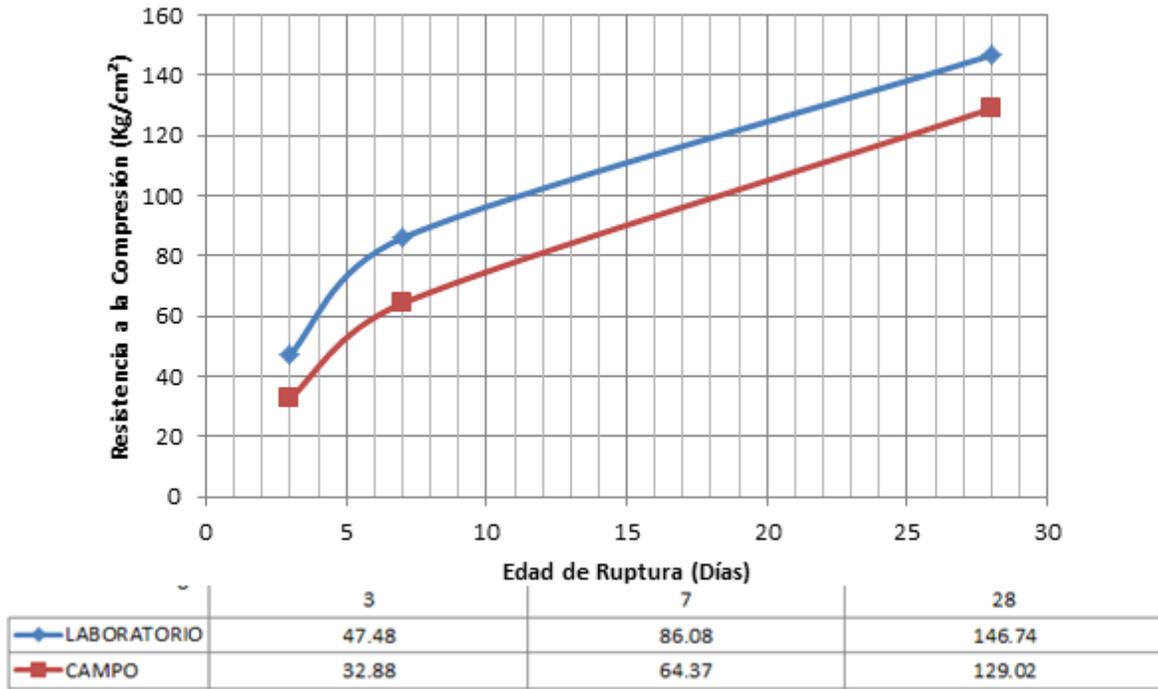


Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

En la **figura 66** se presenta la gráfica comparativa de los resultados obtenidos para el cilindro de 3 pulg x 6 pulg, como puede apreciarse la resistencia a la compresión obtenida en laboratorio es mayor que la resistencia alcanzada en campo, estos resultados presentan diferencias de 14.6 kg/cm², 21.71 kg/cm² y 17.72 kg/cm² para las edades de 3, 7 y 28 días respectivamente. Es decir, la resistencia promedio a la compresión en laboratorio es un 30.62% mayor que la obtenida en campo.

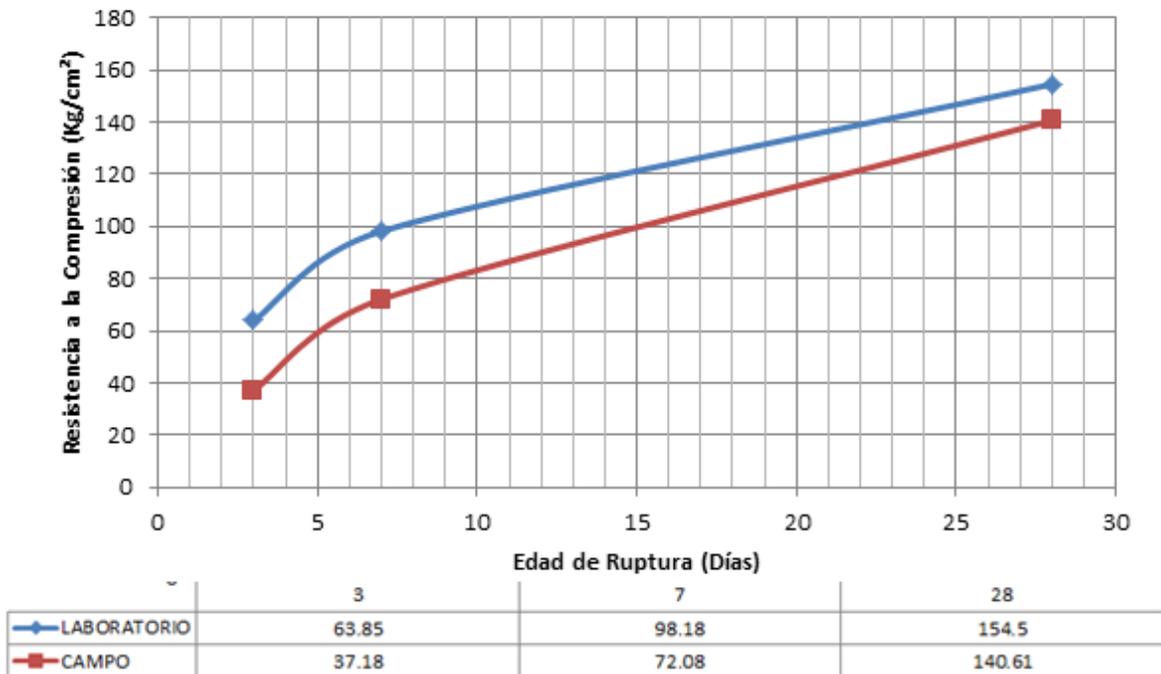
En la **figura 67** se presenta la gráfica comparativa de los resultados obtenidos para el cilindro de 2 pulg x 4 pulg, como puede apreciarse la resistencia a la compresión obtenida en campo es menor a la alcanzada en laboratorio. Con diferencias de 26.67 kg/cm², 26.10 kg/cm² y 13.89 kg/cm², para la edad de 3, 7 y 28 días respectivamente. Observando que la resistencia obtenida en laboratorio, es un 39.27% mayor que la alcanzada en campo.

**Figura 66: Laboratorio versus Campo (Cilindros de 3 pulg x 6 pulg).
CILINDROS DE 3 pulg x 6 pulg.**



Fuente: Grupo Formulator de la investigación

**Figura 67: Laboratorio versus Campo (Cilindros de 2 pulg x 4 pulg).
CILINDROS DE 2 pulg x 4 pulg.**



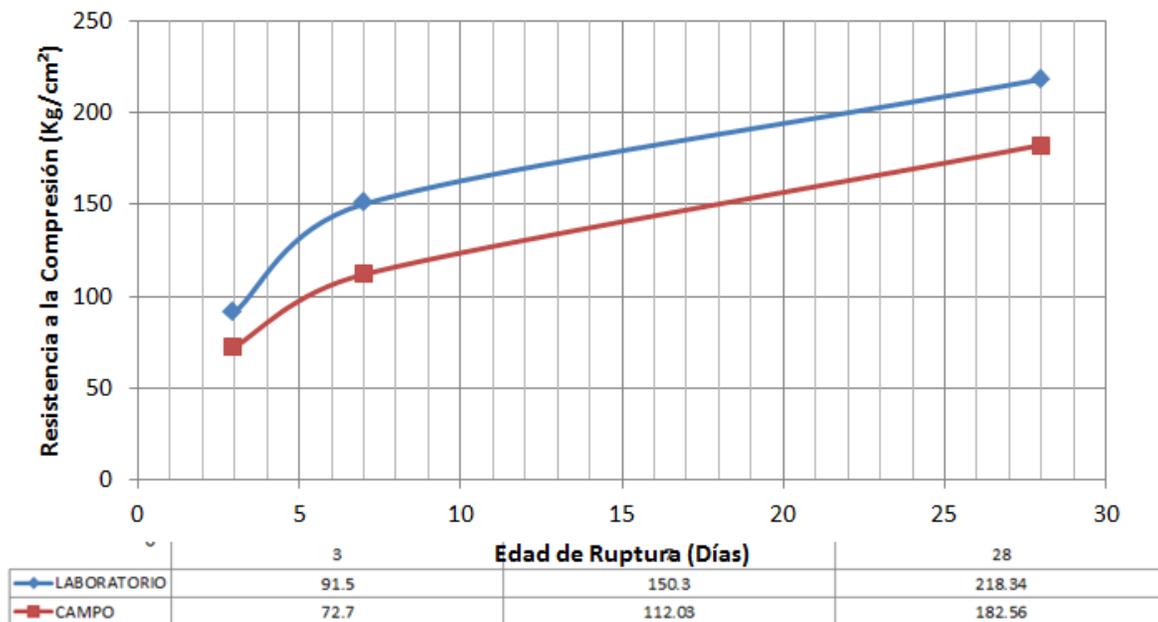
Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

En la **figura 68** se presenta la gráfica comparativa de los resultados producidos para el cubo de 2 pulg, como puede apreciarse la resistencia a la compresión obtenida en campo es menor a la de laboratorio. Con diferencias de 20.76 kg/cm², 40.34 kg/cm² y 40.88 kg/cm², respectivamente para las edades de 3, 7 y 28 días. Observando que la resistencia obtenida en laboratorio es un 36.69% mayor que la obtenida en campo para este tipo de espécimen.

Luego de la evaluación de la resistencia a la compresión del mortero elaborado en condiciones de laboratorio y en condiciones de campo, utilizando los cuatro tipos de especímenes en estudio; se puede establecer que para esta investigación la resistencia a la compresión obtenidas en laboratorio es de un 34.57% mayor que la obtenida en condiciones de campo.

Lo anterior es bastante lógico, ya que cuando se elabora el mortero y los especímenes en laboratorio, se tiene un mayor control de las condiciones que afectan la resistencia a la compresión, como lo son el mezclado, contenido de agua y temperatura entre otros factores; cosas que en campo es muy difícil controlar.

**Figura 68: Laboratorio versus Campo (Cubos de 2 pulg).
CUBOS DE 2 pulg x 2 pulg.**



Fuente: Grupo Formulador de la Investigación

COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

En el capítulo I se planteó una Hipótesis General y cuatro hipótesis específicas que debían ser comprobadas, los resultados para la aceptación o no de estas se presentan en las **tablas 40, 41 y 42**.

a. Tabulación de datos

Tabla 40: Variación de la resistencia (2 pulg x 2 pulg vrs 6 pulg x 12 pulg).

Variación de la resistencia (2 pulg x 2 pulg versus 6 pulg x 12 pulg)			
Edad de Ruptura	Cubos 2 pulg x 2 pulg	Cilindros 6 pulg x 12 pulg	Variación de la Resistencia (%)
3	72.7	42.71	58.75
7	112.03	53.33	47.60
28	182.56	88.83	48.66

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

Tabla 41: Variación de la resistencia (2 pulg x 4 pulg vrs 6 pulg x 12 pulg).

Variación de la resistencia (2 pulg x 4 pulg vrs 6 pulg x 12 pulg)			
Edad de Ruptura	Cilindros 2 pulg x 4 pulg	Cilindros 6 pulg x 12 pulg	Variación de la Resistencia (%)
3	37.18	42.71	14.87
7	72.08	53.33	26.01
28	140.61	88.83	36.83

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

Tabla 42: Variación de la resistencia (3 pulg x 6 pulg vrs 6 pulg x 12 pulg).

Variación de la resistencia (3 pulg x 6 pulg versus 6 pulg x 12 pulg)			
Edad de Ruptura	Cilindros 3 pulg x 6 pulg	Cilindros 6 pulg x 12 pulg	Variación de la Resistencia (%)
3	32.88	42.71	29.90
7	64.37	53.33	17.15
28	129.02	88.83	31.15

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

PRUEBA DE VELOCIDAD PULSO ULTRASÓNICO.

La prueba de velocidad de pulso ultrasónico fue aplicada a tres especímenes escogidos al azar, para cada edad (3, 7 y 28 días) y para cada tamaño (cilindros de 2 pulg x 4 pulg, de 3 pulg x 6 pulg, y de 6 pulg x 12 pulg).

MODELO DE CÁLCULO

Debido a que el aparato para medir el pulso ultrasónico (V-Meter MK III), requiere las unidades en el Sistema Inglés, se hizo necesario utilizar una serie de conversiones para poder introducir los datos necesarios para que el aparato pudiese realizar el cálculo del tiempo, la velocidad y el Módulo de Elasticidad Dinámico, de una manera adecuada (1 pulgada = 2.54 cm, 1 pie = 12 pulgadas, 1 Kg = 2.2046 libras).

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

TABULACIÓN

Tabla 43: Resultados de pulso ultrasónico para especímenes cilíndricos a la edad de 3, 7 y 28 días.

Especimen No.	Fecha	Edad	Diámetro (pies)	Masa (lb)	Volumen (pie ³)	Peso Volumétrico (lb/ pie ³)	Distancia entre transductores (pulg)	Tiempo (Micro seg)	Velocidad (pie/seg)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)
6	08/06/2012	3 días	0.50	23.13	0.20	117.77	12.00	113.90	8780	1.96*10 ⁶
10	08/06/2012	3 días	0.50	22.69	0.19	118.004	12.00	114.10	8764	1.96*10 ⁶
22	08/06/2012	3 días	0.50	22.63	0.19	117.33	12.00	114.30	8749	1.95*10 ⁶
2	06/06/2012	7 días	0.50	24.50	0.19	127.24	12.00	88.10	11351	3.56*10 ⁶
6	06/06/2012	7 días	0.49	24.81	0.19	129.50	12.00	98.40	10163	2.9*10 ⁶
7	06/06/2012	7 días	0.49	25.04	0.19	131.57	12.00	100.40	9960	2.83*10 ⁶
1	21/06/2012	28 días	0.49	24.45	0.19	128.66	12.00	92.80	10776	3.23*10 ⁶
4	21/06/2012	28 días	0.50	24.45	0.19	126.15	12.00	92.60	10799	3.20*10 ⁶
14	21/06/2012	28 días	0.49	24.27	0.19	126.89	12.00	94.70	10560	3.06*10 ⁶
5	01/06/2012	3 días	0.28	3.92	0.03	128.11	6.00	58.00	8764	2.09*10 ⁶
12	01/06/2012	3 días	0.28	3.91	0.03	122.05	6.00	56.30	9026	2.16*10 ⁶
26	01/06/2012	3 días	0.28	3.77	0.03	119.50	6.00	63.90	7955	1.64*10 ⁶
1	24/05/2012	7 días	0.28	3.99	0.03	126.21	6.00	51.00	9967	2.72*10 ⁶
26	24/05/2012	7 días	0.28	3.99	0.03	129.84	6.00	51.60	9851	2.72*10 ⁶
30	24/05/2012	7 días	0.28	3.98	0.03	129.28	6.00	49.90	10187	2.91*10 ⁶
16	13/06/2012	28 días	0.28	4.02	0.03	124.05	6.00	47.60	10679	3.8*10 ⁶
17	13/06/2012	28 días	0.28	4.15	0.03	126.92	6.00	48.20	10546	3.05*10 ⁶
28	13/06/2012	28 días	0.28	4.00	0.03	126.37	6.00	49.30	10311	2.91*10 ⁶

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

7	01/06/2012	3 días	0.19	1.16	0.01	120.46	4.00	39.80	8585	1.92*10 ⁶
10	01/06/2012	3 días	0.19	1.18	0.01	124.06	4.00	38.50	8658	1.94*10 ⁶
17	01/06/2012	3 días	0.19	1.18	0.01	123.50	4.00	41.40	8052	1.68*10 ⁶
1	24/05/2012	7 días	0.19	1.20	0.01	129.75	4.00	31.70	10515	3.10*10 ⁶
15	24/05/2012	7 días	0.18	1.21	0.01	139.50	4.00	32.10	10334	3.26*10 ⁶
30	24/05/2012	7 días	0.18	1.21	0.01	136.51	4.00	33.10	10070	3*10 ⁶
10	13/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	127.74	4.00	31.00	11022	3.36*10 ⁶
15	13/06/2012	28 días	0.19	1.20	0.01	130.22	4.00	32.70	10449	3.09*10 ⁶
20	13/06/2012	28 días	0.19	1.20	0.01	130.08	4.00	30.20	11303	3.62*10 ⁶

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

Tabla 44: Resultados de pulso ultrasónico para especímenes cilíndricos a la edad de 28 días

Espécimen No.	Fecha	Edad	Diámetro (pies)	Masa (lb)	Volumen (pie ³)	Peso Volumétrico (lb/ pie ³)	Distancia entre transductores (pulg)	Tiempo (Micro seg)	Velocidad (pie/seg)	Módulo de elasticidad Dinámico (psi)
1	12/06/2012	28 días	0.28	3.94	0.03	125.52	6.00	46.60	10730.00	3.13*10 ⁶
2	12/06/2012	28 días	0.28	3.94	0.03	122.73	6.00	47.30	10571.00	2.97*10 ⁶
3	12/06/2012	28 días	0.28	3.95	0.03	123.22	6.00	47.10	10700.00	3.07*10 ⁶
1	12/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	128.53	4.00	30.80	10823.00	3.26*10 ⁶
2	12/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	131.50	4.00	31.60	10202.00	3.33*10 ⁶
3	12/06/2012	28 días	0.19	1.19	0.01	128.99	4.00	31.50	10582.00	3.12*10 ⁶

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

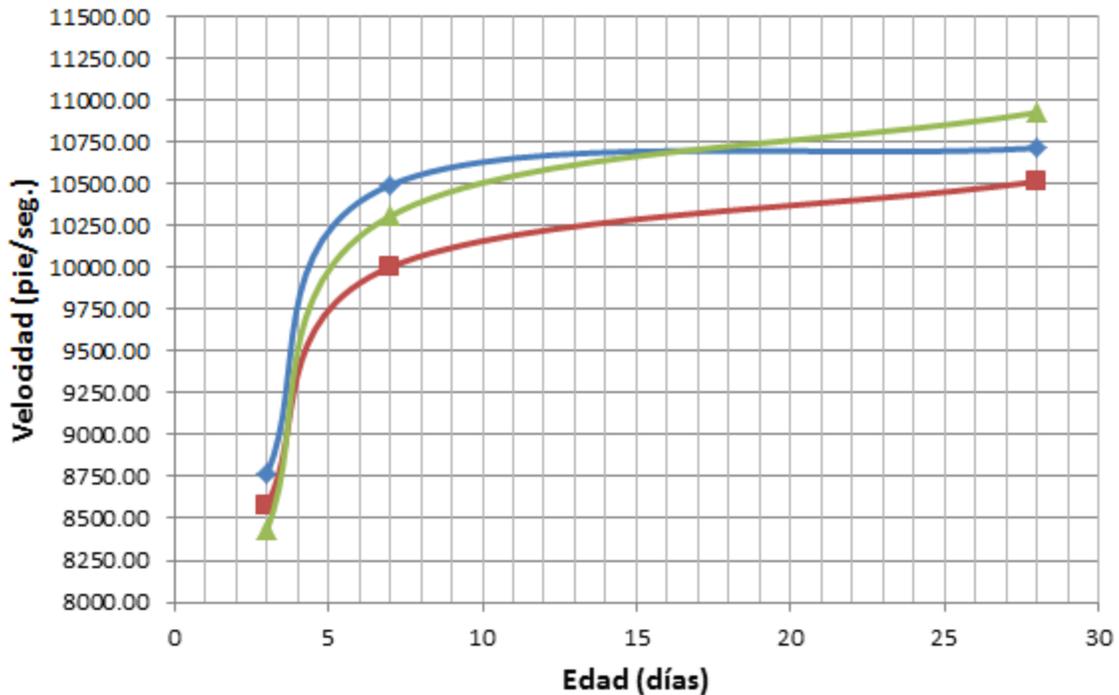
ANÁLISIS

Para los tres tipos de especímenes cilíndricos, fueron evaluados tres parámetros importantes que proporciona una prueba de pulso ultrasónico, como lo son el tiempo de tránsito, la velocidad de pulso y el módulo de elasticidad dinámico. Evaluando como varia cada uno de estos parámetros en función de la edad del espécimen. Según los resultados se tiene que:

- i) La Velocidad de pulso aumenta conforme la edad del especimen aumenta. Esto se aprecia en la **Figura 69**.

Figura 69: Especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y de 6 pulg x 12 pulg.

**PULSO ULTRASÓNICO, ASTM C-597
Velocidad vrs Edad**



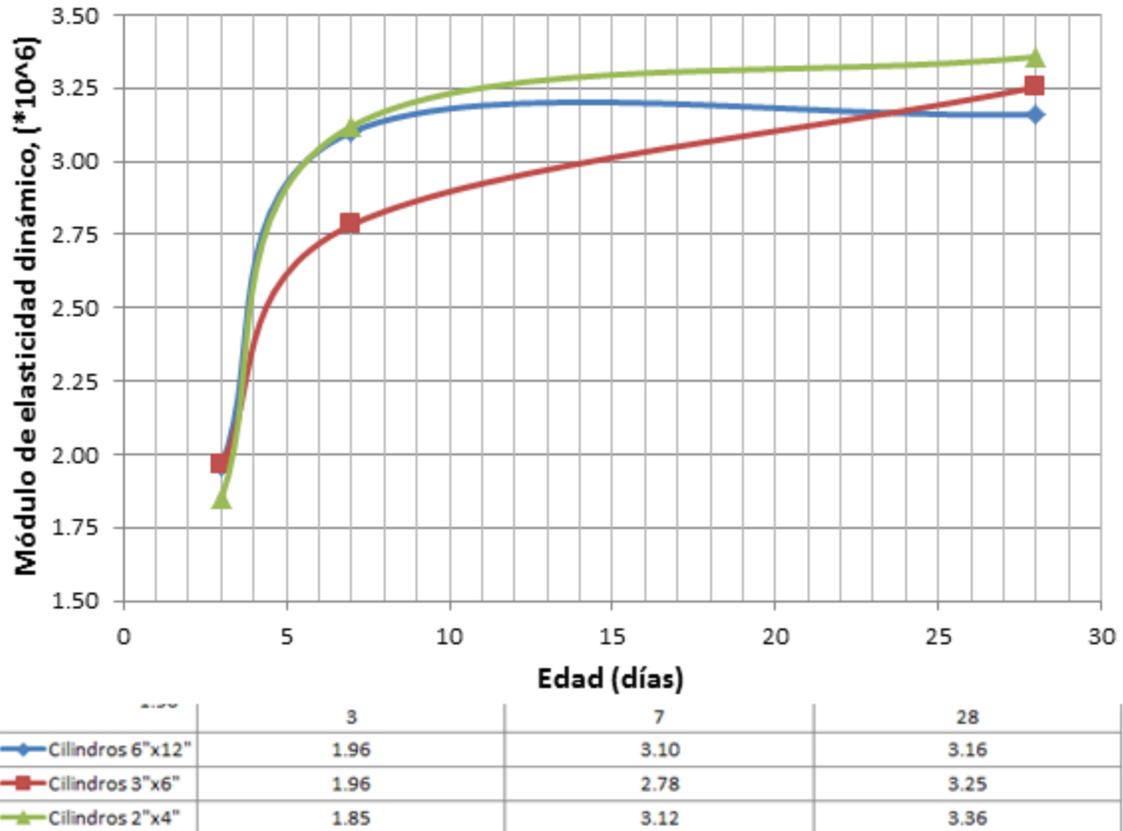
	3	7	28
—◆— Cilindros 6"x12"	8764.33	10491.33	10711.67
—■— Cilindros 3"x6"	8581.67	10001.67	10512.00
—▲— Cilindros 2"x4"	8431.67	10306.33	10924.67

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

- i) Que el módulo de elasticidad dinámico aumenta conforme aumenta la edad del espécimen. Esto se aprecia en la **figura 70**.

Figura 70: Especímenes cilíndricos de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, y de 6 pulg x 12 pulg.

**PULSO ULTRASÓNICO, ASTM C-597
Módulo de elasticidad vrs Edad.**



Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se puede observar que el comportamiento de los especímenes es el correcto, debido a que va aumentando su velocidad con el tiempo, y que es mayor en sus primeros 7 días y empieza a disminuir de los 7 a 28 días, el cual es como lo solicita dicha prueba.

Aunque el comportamiento de los especímenes no es del todo correcto, con el establecido para el módulo de elasticidad, posee la tendencia que se esperaba y la correlación que existe entre el módulo de elasticidad con respecto a su edad.

La evaluación del mortero según la prueba no destructiva de Pulso Ultrasónico, está basada en el manual de la Red DURAR (1997), que brinda los criterios de evaluación para esta prueba y se presentan en la **tabla 45**, para establecer la calidad del mortero.

Tabla 45: Criterios de evaluación en pulso ultrasónico.

Velocidad de Propagación	Calidad del Mortero
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s.	Normal
3001 a 4000 m/s.	Alta
> 4000 m/s.	Durable

Fuente: Manual de la Red DURAR (1997)

Si se usara esta clasificación para evaluar la calidad del mortero utilizado, comparando la velocidad de propagación obtenida en la prueba a la edad de 28 días, el mortero utilizado está clasificado como de **alta calidad**. Pero como esta investigación está basada en la norma ASTM C597, y esta no determina la tendencia o parámetros para comparar los resultados obtenidos aplicando este método de ensayo, no se pudo dar una apreciación exacta.

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Tabla 46: Evaluación de la calidad del mortero de acuerdo a la velocidad de pulso ultrasónico.

Espécimen No.	Fecha	Edad	Diámetro (pies)	Masa (lb)	Volumen (pie ³)	Peso Volumétrico (lb/ pie ³)	Distancia entre transductores (pulg)	Tiempo (Micro seg)	Velocidad (pie/seg)	Velocidad (m./seg)	Calidad del mortero
6	08/06/2012	3 días	0.50	23.13	0.20	117.77	12.00	113.90	8780	2676.14	normal
10	08/06/2012	3 días	0.50	22.69	0.19	118..004	12.00	114.10	8764	2671.27	normal
22	08/06/2012	3 días	0.50	22.63	0.19	117.33	12.00	114.30	8749	2666.70	normal
2	06/06/2012	7 días	0.50	24.50	0.19	127.24	12.00	88.10	11351	3459.78	alta
6	06/06/2012	7 días	0.49	24.81	0.19	129.50	12.00	98.40	10163	3097.68	alta
7	06/06/2012	7 días	0.49	25.04	0.19	131.57	12.00	100.40	9960	3035.81	alta
1	21/06/2012	28 días	0.49	24.45	0.19	128.66	12.00	92.80	10776	3284.52	alta
4	21/06/2012	28 días	0.50	24.45	0.19	126.15	12.00	92.60	10799	3291.54	alta
14	21/06/2012	28 días	0.49	24.27	0.19	126.89	12.00	94.70	10560	3218.69	alta
5	01/06/2012	3 días	0.28	3.92	0.03	128.11	6.00	58.00	8764	2671.27	normal
12	01/06/2012	3 días	0.28	3.91	0.03	122.05	6.00	56.30	9026	2751.12	normal
26	01/06/2012	3 días	0.28	3.77	0.03	119.50	6.00	63.90	7955	2424.68	normal
1	24/05/2012	7 días	0.28	3.99	0.03	126.21	6.00	51.00	9967	3037.94	alta
26	24/05/2012	7 días	0.28	3.99	0.03	129.84	6.00	51.60	9851	3002.58	alta
30	24/05/2012	7 días	0.28	3.98	0.03	129.28	6.00	49.90	10187	3105.00	alta
16	13/06/2012	28 días	0.28	4.02	0.03	124.05	6.00	47.60	10679	3254.96	alta
17	13/06/2012	28 días	0.28	4.15	0.03	126.92	6.00	48.20	10546	3214.42	alta
28	13/06/2012	28 días	0.28	4.00	0.03	126.37	6.00	49.30	10311	3142.79	alta
7	01/06/2012	3 días	0.19	1.16	0.01	120.46	4.00	39.80	8585	2616.71	normal

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

10	01/06/2012	3 días	0.19	1.18	0.01	124.06	4.00	38.50	8658	2638.96	normal
17	01/06/2012	3 días	0.19	1.18	0.01	123.50	4.00	41.40	8052	2454.25	normal
1	24/05/2012	7 días	0.19	1.20	0.01	129.75	4.00	31.70	10515	3204.97	alta
15	24/05/2012	7 días	0.18	1.21	0.01	139.50	4.00	32.10	10334	3149.80	alta
30	24/05/2012	7 días	0.18	1.21	0.01	136.51	4.00	33.10	10070	3069.34	alta
10	13/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	127.74	4.00	31.00	11022	3359.51	alta
15	13/06/2012	28 días	0.19	1.20	0.01	130.22	4.00	32.70	10449	3184.86	alta
20	13/06/2012	28 días	0.19	1.20	0.01	130.08	4.00	30.20	11303	3445.15	alta

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

Tabla 47: Evaluación de la calidad del mortero de acuerdo a la velocidad de pulso ultrasónico.

Espécimen No.	Fecha	Edad	Diámetro (pies)	Masa (lb)	Volumen (pie ³)	Peso Volumétrico (lb/ pie ³)	Distancia entre transductores (pulg)	Tiempo (Micro seg)	Velocidad (pie/seg)	Velocidad (m/seg)	Calidad del mortero
1	12/06/2012	28 días	0.28	3.94	0.03	125.52	6.00	46.60	10730.00	3270.50	alta
2	12/06/2012	28 días	0.28	3.94	0.03	122.73	6.00	47.30	10571.00	3222.04	alta
3	12/06/2012	28 días	0.28	3.95	0.03	123.22	6.00	47.10	10700.00	3261.36	alta
1	12/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	128.53	4.00	30.80	10823.00	3298.85	alta
2	12/06/2012	28 días	0.19	1.21	0.01	131.50	4.00	31.60	10202.00	3109.57	alta
3	12/06/2012	28 días	0.19	1.19	0.01	128.99	4.00	31.50	10582.00	3225.39	alta

Fuente: Grupo Formulator de la Investigación

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos de los ensayos, realizados tanto al mortero como a la arena, la normativa ASTM empleada y las consideraciones presentadas en los capítulos anteriores, a continuación se exponen las conclusiones:

1. Los resultados obtenidos en los ensayos de la Granulometría y Sanidad de la arena, no cumplen con los requisitos descritos en la norma ASTM C144: Especificación estándar para agregados de mortero de albañilería, **ver tabla 11 y figura 61**, lo que afecta la obtención de los valores bajos de la resistencia a la compresión.
2. Basados en los datos obtenidos de la resistencia a la compresión del mortero, empleando especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg , 3 pulg x 6 pulg, 2 pulg x 4 pulg y cúbicos de 2 pulg, se concluye que el espécimen que brinda los resultados que mejor representan esos valores, es el cilindro de 2 pulg x 4 pulg, ya que mantuvo los valores más cercanos al promedio de la resistencia obtenida por los cuatro tamaños de especímenes, evaluados tanto en campo como en laboratorio en cada una de las edades ensayadas a los 3, 7 y 28 días.
3. La resistencia obtenida en laboratorio indica que los cuatro tamaños de especímenes marcan la tendencia especificada, en cuanto al desarrollo de la resistencia en las edades a evaluar y los resultados obtenidos, fueron los esperados, de acuerdo a la relación fuerza entre área, con respecto a cada una de las dimensiones de los especímenes en estudio; siendo la resistencia de los cubos la que representa el mayor valor en todas las edades y la resistencia de los cilindros de 6 pulg x 12 pulg, la que presenta los menores valores como se muestra en la **tabla 39**.

4. Los cilindros de 6 pulg x 12 pulg a la edad de 3 días, elaborados en condiciones de campo, presentan un comportamiento diferente con respecto a los cilindros de 3 pulg x 6 pulg y 2 pulg x 4 pulg. en relación a las edades de 7 y 28 días, el cual alcanza una resistencia de 42.71 kg/cm², como se muestra en la **tabla 39**.
5. De acuerdo a la velocidad de pulso ultrasónico y basándose en el Manual de la Red DURAR (**Tabla No. 45**), el mortero elaborado con cemento de albañilería y arena del río Chigüillo para los especímenes cilíndricos de 6 pulg x 12 pulg, 3 pulg x 6 pulg y de 2 pulg x 4 pulg se clasifica como de calidad **NORMAL** para la edad de 3 días y de calidad **ALTA** para la edad de 7 y 28 días respectivamente.
6. Los especímenes cúbicos de 2 pulg no se pueden evaluar dentro del manual de la Red DURAR, debido a que no se llevó a cabo la prueba de pulso ultrasónico, ya que no entran en el rango mínimo de la distancia entre transductores.
7. De acuerdo con los coeficientes de variación de la resistencia a la compresión para cada uno de los especímenes en las edades de 3, 7 y 28 días (**ver tabla 37**), los que presentan la mayor diversidad de valores son los cilindros de 6 pulg x 12 pulg a la edad de 7 días con 24.49% seguido por los cubos de 2 pulg con 9.80% a la edad de 28 días.
8. Al comparar los resultados de los datos obtenidos en campo y en laboratorio, se pudo comprobar que la resistencia en laboratorio es mayor que la obtenida en campo, como se puede verificar para cada uno de los tamaño de los especímenes:
 - En cilindros de 6 pulg x 12 pulg es de 26.13%.
 - En cilindros de 3 pulg x 6 pulg es de 23.23%.
 - En cilindros de 2 pulg x 4 pulg es de 25.78%.
 - En cubos de 2 pulg es de 20.79%.

Esto se debe a que en el laboratorio las condiciones son más controladas, mientras que en campo hay muchos factores como la cantidad de especímenes, condiciones ambientales y otros factores que afectan los resultados. Además en campo, se pretende obtener una mayor manejabilidad, lo que conlleva a adicionar más agua a la mezcla, aumentando así la adherencia y disminuyendo la resistencia.

9. La hipótesis general, establece que la resistencia a la compresión del mortero determinada a través de cubos de 2 pulg y cilindros de 2 pulg x 4 pulg, 3 pulg x 6 pulg, es equivalente a la resistencia obtenida en los cilindros de 6 pulg x 12 pulg; queda rechazada, ya que al comparar las resistencias de los primeros tres con este último, no se presenta una equivalencia entre las mismas como se muestra en la **tabla 39**.

10. La hipótesis específica 1, establece que el resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero utilizando un cubo de 2 pulg y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg, no variará en un máximo del **15%**; queda rechazada, ya que al comparar las resistencias de estos dos, se obtiene una variación en las edades de 58.75% para 3 días, 47.60% para 7 días y 48.66% para 28 días.

11. La hipótesis específica 2, establece que el resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero utilizando un cilindro de 2 pulg x 4 pulg y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg, no variará en un máximo del 10%; queda rechazada, ya que al comparar las resistencias de estos dos, se obtiene una variación en las edades de 14.87% para 3 días, 26.01% para 7 días y 36.83% para 28 días.

12. La hipótesis específica 3, establece que el resultado obtenido al ensayar a compresión un mortero, utilizando un cilindro de 3 pulg x 6 pulg y un cilindro de 6 pulg x 12 pulg, no variará en un máximo del **5%**; queda rechazada, ya que al comparar las resistencias de estos dos, se obtiene una variación en las edades de 29.90% para 3 días, 17.15% para 7 días y 31.15% para 28 días.

13. La Hipótesis Específica 4, establece que la arena procedente del río Chigüillo del departamento de Santa Ana cumple con las especificaciones requeridas para la elaboración de morteros de albañilería. Esta hipótesis queda rechazada, porque luego de realizársele estudios de granulometría y sanidad, quedo demostrado que la arena del rio Chigüillo no cumple con los límites y los requisitos establecidos en la norma ASTM C144 para arena natural, así como no se cumple de igual manera con el 10% de pérdida establecido para el ensayo de la sanidad utilizando sulfato de sodio bajo la norma ASTM C88.

5.2 RECOMENDACIONES

En base a toda la información recopilada, los resultados obtenidos y la experiencia acumulada en el desarrollo del presente Trabajo de Grado, se pueden emitir recomendaciones, las cuales se mencionan a continuación:

1. Se recomienda la utilización del espécimen cilíndrico de 2 pulg x 4 pulg, para evaluar la resistencia a la compresión del mortero, ya que este brinda resultados confiables y proporciona mejores condiciones para su elaboración, manejo y curado.
2. Cuando se incurre en la necesidad de elaborar moldes para los especímenes que contempla la Norma ASTM C780, estos deben ser de un espesor considerable, para que la forma del espécimen sea uniforme, así como la superficie sean lisas y el corte del molde sea perpendicular a su longitud para que su acabado sea de acuerdo a lo que exige la Norma.
3. Al utilizar moldes de PVC, se recomienda curarlo a un día de elaborado dentro de su molde y desmoldarlo a partir del segundo día de haber sido elaborado.
4. Para el ensayo a compresión, verificar que los especímenes se encuentren bien centrados en los anillos, los cuales deben estar recubiertos con almohadillas de neopreno, antes que la máquina comience el proceso de carga sobre cada espécimen.
5. En la etapa de elaboración de especímenes, se recomienda planificar detalladamente los procedimientos de dosificación, mezclado, colocado y acabado de la superficie (enrasado), debido a que pequeñas variaciones en estos procedimientos, pueden mostrar grandes cambios en los resultados.

6. Si hay una curvatura apreciable en los especímenes de ensayo, muela la cara o las caras a una superficie plana o descartar la muestra, ya que las imperfecciones o deficiencias en estas, pueden alterar los resultados de los ensayos a compresión.
7. Realizar un análisis granulométrico de las arenas a utilizar en la elaboración de morteros, ya que este es un componente de suma importancia y que afecta las propiedades físicas y mecánicas del mortero a usar.
8. El agua a utilizar en los morteros, no debe tener químicos ni agentes externos a su composición, que puedan ocasionar que el mortero disminuya su resistencia. Por lo general, se recomienda que el agua sea potable; se dice que el agua para beber es buena para hacer mortero, por otra parte, el agua que es buena para el mortero no necesariamente es buena para beber.
9. Realizar los ensayos de laboratorio conforme a los procedimientos descritos y verificar que el equipo a utilizar en el desarrollo de estos, coincida con las características mostradas en la respectiva norma ASTM aplicada, lo que permitirá obtener datos confiables.
10. Con el fin de verificar la información contenida en el presente documento, se recomienda consultar la norma ASTM respectiva, en su versión correspondiente más reciente.
11. Se sugiere al lector, para ampliar aún más su conocimiento acerca del tema, abocarse a la biblioteca del ISCYC, en donde podrá encontrar Trabajos de Grado similares a este, pero aplicando otro tipo de cemento y otro tipo de arena.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Amaya Valencia, Mauricio Alfredo, Díaz Acosta, Carlos Ernesto. (2011). *Manual de guías de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales para las asignaturas: “ingeniería de materiales” y “tecnología del concreto”*. (339 pp.) Trabajo de Grado de la Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería. San Salvador (El Salvador)
- ❖ ASTM C 780-02: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry (*Método Estándar para la evaluación antes y durante la construcción de morteros para mampostería sencilla o reforzada*)
- ❖ ASTM C 270 – 02: Standard Specification for Mortar for Unit Masonry (*Especificación Estándar del Mortero para Unidades de Mampostería*).
- ❖ ASTM C 144-02: Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar (*Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería*)
- ❖ ASTM C 1586-05: Standard Guide for Quality Assurance of Mortars (*Guía estándar para el Aseguramiento de la Calidad de Morteros*)
- ❖ ASTM C 91 – 03: Standard Specification for Masonry Cement (*Especificación estándar para Cemento de Albañilería*)
- ❖ ASTM C 31/C 31M – 03a: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field (*Practica Estándar para la Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en el Campo*).

- ❖ ASTM C 39/C 39M – 01: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (*Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*).
- ❖ ASTM C 109/C 109M – 02: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) (*Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Usando Especímenes Cúbicos de 2-pulg o [50-mm])*).
- ❖ ASTM C 230/C 230M-03: Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement (*Especificación Estándar para la Mesa de Fluidez para el Uso en Ensayos de Cemento Hidráulico*).
- ❖ ASTM C136-06: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (*Método de Ensayo Estándar para Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Fino*).
- ❖ ASTM C128 – 07: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate (*Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (gravedad Específica) y Absorción del agregado Fino*).
- ❖ ASTM C29 / C29M – 09: Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. (*Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los agregados*).
- ❖ ASTM D75 – 03: Standard Practice for Sampling Aggregates (*Práctica Estándar para el Muestreo de Agregados*).
- ❖ ASTM C 305 - 06: Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency (*Práctica Estándar para la Mezcla*).

Mecánica de Pasta de Cemento Hidráulico y Morteros de Consistencia Plástica).

- ❖ ASTM C 470/C 470M – 02a: Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically (*Especificación Estándar para Moldes para Encofrado Vertical de Cilindros de Concreto*).
- ❖ ASTM C 511 - 06: Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes (*Especificación Estándar para Cuartos de Mezclado, Gabinetes Húmedos, Cuartos Húmedos y Tanques de Agua Usados en los Ensayos de Cemento y Concreto Hidráulico*)
- ❖ ASTM C 88-05: Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate (*Método de prueba estándar para determinar la validez de los agregados por el uso de Sulfato de sodio o Sulfato de Magnesio*)
- ❖ ASTM C1437-07: Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar (*Método de Ensayo Estándar para la Fluidéz del Mortero de Cemento Hidráulico*)
- ❖ ASTM C597–02: Standard Test Method for Pulse Velocity (*Método de Ensayo Estándar para Velocidad de Pulso a Través del Concreto*)
- ❖ Grupo Editorial Océano. (1990). *Enciclopedia de la Construcción Arquitectura e Ingeniería*. (Vol. 1, pp. 103-112). Nueva York (EE.UU): McGraw-Hill.
- ❖ http://www.cement.org/masonry/compressive_strength.asp (2 of 3)3/9/2007 8:36:34 AM

- ❖ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Enero-2011). *Cemento para Albañilería (Mortero)/Especificaciones y métodos de prueba*. Sección Coleccionable 47. (pp. 41-71)

- ❖ Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2001) *Guía de Construcciones a base de Cemento*. (74 pp.). Antigua Cuscatlán (El Salvador)

- ❖ Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. (2002). *Morteros hidráulicos, generalidades y selección*. (pp. 1-30). Antigua Cuscatlán (El Salvador)

- ❖ Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto. *Revista 2: Repaso de las variables que afectan los resultados de la resistencia a la compresión*. (pp. 21-22). Antigua Cuscatlán (El Salvador)

- ❖ Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. *Prueba de resistencia a la compresión del concreto* (Junio-2006). Sección Coleccionable 5. (pp. 20-22)

- ❖ Ministerio de Obras Públicas de la República de El Salvador. (1997). *Norma Técnica para Control de Calidad de los Materiales Estructurales*. (pp. 17-20). San Salvador (El Salvador)

- ❖ Ministerio de Obras Públicas de la República de El Salvador. (1997). *Norma Técnica para Diseño y Construcción Estructural de Mampostería*. (34 pp.). San Salvador (El Salvador)

- ❖ Norma Técnica Colombiana NTC 4325. (1997): *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*.

- ❖ Red DURAR. (1997). *“Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado,”* Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). (pp. 95-97) Maracaibo (Venezuela).

- ❖ Rivera López, Gerardo Antonio. (2004). *Concreto Simple.* (pp.13-82). Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca (Colombia).

- ❖ Salamanca Correa, Rodrigo. (2001). *La tecnología de los Morteros.* (pp. 41-48). Bogotá (Colombia).

- ❖ Sánchez de Guzmán, Diego. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5ta ed., pp. 57-108, 303-317). Bogotá (Colombia): Bhandar Editores.

ANEXOS

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTERO EMPLEANDO ESPECÍMENES CILÍNDRICOS Y CÚBICOS, UTILIZANDO ARENA DEL OCCIDENTE DEL PAÍS”

Anexo 1: Certificación del Cemento de Albañilería.



Holcim El Salvador, S.A. de C.V. Tel. +503 2505-0000
Ave. El Espino y calle Holcim Fax +503 2505-0777
Madreselva, Antiguo Cuscatlán www.holcim.com.sv
La Libertad, El Salvador.

Formato LC-F-156, Revisión 3
Ref. CUSCATLAN 19 al 25 de Marzo de 2012 Rev. 1

Este documento **certifica** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CUSCATLAN**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C91-05, Tipo M. Este cemento, durante la fecha comprendida del 19 al 25 de Marzo de 2012 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

Tabla 1. Requerimientos Físicos y Químicos

Determinación	ASTM C91-05 Tipo M	Promedio de nuestro Cemento
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%)	24 % máx.	11.4
Tiempo de Fraguado Gillmore (ASTM C 266) Inicial (minutos) Final (minutos)	No menor de 90 minutos No mayor de 1440 minutos	150 245
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 3 día (psi) 7 días (psi) 28 días (psi)	... 1,800 min. 2,900 min.	2,350 2,870 3,380
Contenido de aire (% vol.) (ASTM C185)	8% min. 19% máx.	11
Retención de Agua (%) (ASTM C1605)	70% min.	87
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C151)	1.0% máx.	0.02

B: No se estipula límite de aceptación, sin embargo debe reportarse.

Metapán, a los veinte y cuatro días del mes de Abril del año dos mil doce.

Ing. Roberto Guandique
Gerente de Control de Calidad.



Nota: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de la empresa

100 años de
Fortaleza. Desempeño. Pasión.