

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**



Universidad de El Salvador
Hacia la libertad por la cultura

**“ESTUDIO EXPLORATORIO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO
DE PESO NORMAL Y MORTERO TIPO M Y S USANDO VIDRIO
RECICLADO COMO AGREGADO”**

PRESENTADO POR:

**APARICIO VILLACORTA, ALBERTO ANTONIO
RIVERA RIVAS, GILBERTO ANTONIO
RODRIGUEZ GOMEZ, MAGDIEL ADONÍAS**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA 17 DE SEPTIEMBRE DE 2009.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Máster Rufino Antonio Quezada Sánchez

VICERRECTOR ACADEMICO:

Arq. Miguel Ángel Pérez

SECRETARÍA GENERAL:

Lic. Douglas Vladimir Alfaro Chávez

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

SECRETARIO:

Ing. Jorge Alberto Rugamas

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvín Edgardo Zúñiga

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL**

**TITULO:
“ESTUDIO EXPLORATORIO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO
DE PESO NORMAL Y MORTERO TIPO M Y S USANDO VIDRIO
RECICLADO COMO AGREGADO”**

PRESENTADO POR:

**APARICIO VILLACORTA, ALBERTO
RIVERA RIVAS, GILBERTO ANTONIO
RODRIGUEZ GOMEZ, MAGDIEL ADONÍAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE DIRECTOR:

ING. GUILLERMO MOYA TURCIOS

CIUDAD UNIVERSITARIA, 17 DE SEPTIEMBRE DE 2009.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

Ing. Guillermo Moya Turcios
DOCENTE DIRECTOR

Ing. Milagro Romero
COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos permitido alcanzar esta meta y por habernos dado la sabiduría necesaria para culminar esta etapa de nuestra vida.

A la Universidad de El Salvador por habernos acogido como sus estudiantes, lo cual nos llena de orgullo.

A nuestro docente director Ingeniero Guillermo Moya Turcios por su aporte a nuestra tesis.

A todos los miembros del personal docente que fueron parte de nuestra formación como profesionales.

Magdiel Adonías Rodríguez Gómez

Gilberto Antonio Rivera Rivas

Alberto Antonio Aparicio Villacorta

DEDICATORIA

Dedico la coronación de este triunfo primeramente a Dios Todopoderoso, quien nos inspiro a lo largo de este trabajo.

A mi madre Ana de Rivera por su amor y sacrificio a lo largo de todos estos años.

A mis hermanos: Fabricio, Erla, Carlos y muy especialmente a Jaime.

A mis compañeros de tesis: Alberto y Magdiel, cuya inteligencia, voluntad y disposición de trabajo fueron determinantes a la hora de realizar este proyecto.

A Angélica Jovel, por su amor, paciencia y apoyo en todo este tiempo.

A mis queridos amigos y compañeros de carrera: Yenni, Xenia, Ricardo, Marvin, Eliu y especialmente a Albin Arístides quien nos ayudo mucho en la realización de este trabajo

A nuestro asesor Ing. Moya Turcios.

A todos ustedes dedico mi trabajo, infinitas gracias por su apoyo

Gilberto Rivera.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios el Gran Artífice del Universo, por haberme creado, por ayudarme con mi tesis dándome la sabiduría para idearla, y todas las demás cualidades que me han permitido llevarla a cabo.

Al Ingeniero Jaime Perla Palacios por haberme guiado, apoyado y asesorado en la realización de esta idea.

A mi madre Blanca Lidia Villacorta por haber creído en mí y apoyarme moralmente en este proyecto.

A mi novia Claudia Carolina Guerrero Martínez por su apoyo moral y por tolerar el tiempo que deje de dedicarle mientras hacia mi tesis.

Alberto Antonio Aparicio Villacorta

DEDICATORIA

Agradezco ante todo a Dios Mi creador, por ser el que me capacito en cada etapa de mi carrera, dándome la inteligencia y sabiduría necesaria para poder desenvolverme hasta alcanzar esta meta.

Gracias a mi Dios porque en medio de situaciones difíciles, problemas familiares, económicos y demás, logre sobresalir de todos estos y alcanzar el propósito por el cual inicie este camino, se que sin su ayuda nunca lo habría logrado, por esto y más, a Él sea la Gloria y el Honor de este Triunfo.

Dedico este triunfo a:

Mi padre TEODORO ABDALI RODRIGUEZ y mi Madre BERTA LIDIA GOMEZ, por ser mis tutores y sustento desde mi niñez, sin su sacrificio no habría salido adelante en mi vida profesional.

Mis Hermanos MELVIN, CESIA, JOSUE, JACKY, MARIELITA y BYRON, porque están en mi diario vivir, lo cual aumenta aun mas mi triunfo ya que tengo más personas con las cuales compartirlo.

Mi Novia DIGNA, quien fue mi compañera fiel durante toda mi carrera, compartiendo los momentos buenos y malos, siendo parte fundamental para culminar este logro.

A Mis Compañeros de TESIS, GILBERTO y ALBERTO, por ser unos compañeros ideales y trabajadores, cada uno tiene una parte de merito en este proyecto muy bien ganado, muchas Gracias.

A Mi Docente Director, Ing. Guillermo Moya Turcios por sus aportes y conocimiento a esta Tesis.

Magdiel Adonías Rodríguez Gómez

CAPITULO 1

ANTEPROYECTO	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. PREGUNTAS DE LA INVESTIGACION	5
1.4. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	5
1.5. OBJETIVOS	7
1.6. HIPOTESIS	8
1.7. ALCANCES	8
1.8. LIMITACIONES	10
1.9. METODO	12

CAPITULO 2

MARCO TEORICO	19
2.1 CONCRETO	20
2.1.1 CONCEPTO GENERAL	20
2.1.2 MEZCLAS DE CONCRETO	21
2.1.2.1 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL	21
2.1.3 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO	22
2.1.3.1 DOSIFICACIÓN	22
2.1.3.2 RELACIÓN AGUA CEMENTO	22
2.1.3.3 TRABAJABILIDAD	22
2.1.3.4 METODO DE LOS PESOS	23
2.1.3.5 METODO DE LOS VOLUMENES	26
2.1.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO	27
2.1.4.1 LA FLUIDEZ	27
2.1.4.2 LA RESISTENCIA	28
2.1.4.3 LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	28
2.1.4.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	28
2.1.4.5 LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	29
2.1.4.6 LA IMPERMEABILIDAD	29
2.1.5 PRUEBAS EN EL CONCRETO	30

2.1.5.1	DEFINICIÓN DE TRABAJABILIDAD_____	31
2.1.5.2	LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA TRABAJABILIDAD_____	32
2.1.5.3	MEDICIÓN DE LA TRABAJABILIDAD_____	33
2.1.5.4	PRUEBA DE REVENIMIENTO_____	33
2.1.6	RESISTENCIA DEL CONCRETO_____	35
2.1.6.1	ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO__	36
2.1.6.1.1	PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO_____	38
2.1.6.1.2	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO_____	40
2.1.6.1.3	TIPOS DE FALLA EN EL CONCRETO_____	42
2.2	MORTEROS_____	43
2.2.1	TIPOS DE MORTEROS_____	43
2.2.2	PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE MAMPOSTERÍA_____	44
2.2.2.1	PROPIEDADES EN ESTADO PLÁSTICO_____	44
2.2.2.2	Propiedades En Estado Endurecido_____	45
2.2.3	PROPORCIONAMIENTO DE MORTEROS_____	46
2.2.3.1	Ejemplo de proporcionamiento de materiales para mortero____	46
2.2.3.2	Determinación del Peso Volumétrico Suelto_____	47
2.2.3.3	Preparación de los moldes_____	48
2.2.3.4	Proporcionamiento, consistencia y mezclado del mortero_____	48
2.2.4	PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO FRESCO_____	49
2.2.4.1	FLUIDEZ DEL MORTERO_____	49
2.2.4.2	DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ_____	50
2.2.4.3	PROCEDIMIENTO_____	51
2.2.4.4	PROPORCIONAMIENTO_____	52
2.3	AGREGADOS_____	53
2.3.1	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS_____	53
2.3.2	CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS_____	53
2.3.3	MUESTREO_____	55
2.3.4	FORMA Y TEXTURA DE PARTÍCULAS_____	57
2.3.5	ADHERENCIA DEL AGREGADO_____	60
2.3.6	RESISTENCIA DEL AGREGADO_____	60
2.3.7	OTRAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS_____	61
2.3.8	POROSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS_____	62
2.3.9	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO_____	64
2.3.10	MÓDULO DE FINURA_____	64
2.3.11	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS_____	65
2.3.12	GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS_____	66
2.3.13	TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO_____	67

2.3.14	AGREGADOS ESPECIALES	68
2.3.15	PRUEBAS REALIZADAS EN LOS AGREGADOS	69
2.3.15.1	ABSORCIÓN DE LA ARENA Y GRAVA	69
2.3.15.2	ABSORCIÓN DE LA GRAVA	70
2.3.15.3	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA Y GRAVA	70
2.3.15.3.1	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE GRAVA POR EL MÉTODO DE LA CANASTILLA	70
2.3.15.3.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA POR EL MÉTODO DE MATRACES (VOLUMÉTRICO)	71
2.3.15.3.3	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA ARENA POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO (GRAVIMÉTRICO)	73
2.3.15.4	PRUEBAS DE GRANULOMETRIA	75
2.3.15.4.1	Muestra de Prueba:	75
2.3.15.4.2	PROCEDIMIENTO	76
2.3.15.4.3	CÁLCULOS	76
2.4	EL VIDRIO COMO AGREGADO	78
2.4.1	GENERALIDADES SOBRE EL VIDRIO	78
2.4.2	PROPIEDADES GENERALES DEL VIDRIO	79
2.4.3	EL RECICLAJE DEL VIDRIO	82
2.4.3.1	CONCEPTOS BÁSICOS	83
2.4.3.2	RECUPERACIÓN Y RECICLADO	84
2.4.3.3	LAS VENTAJAS DEL RECICLADO DEL VIDRIO	84

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS Y DOSIFICACION DE MEZCLAS	85
3.1 PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS	86
3.1.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO	86
3.1.2 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO PETREO (ARENA DE RIO)	86
3.1.3 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO VIDRIO RECICLADO	87
3.1.4 PESO ESPECÍFICO AGREGADO PÉTREO (ARENA DE MINA)	87
3.1.5 PESO ESPECÍFICO GRAVA DE MINA	88
3.1.6 PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO VÍTREO	88
3.2 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LOS AGREGADOS	89
3.2.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ABSORCION DE LOS AGREGADOS	89
3.2.2 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA ARENA DE RIO	89
3.2.3 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA ARENA DE MINA	89
3.2.4 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA GRAVA DE MINA	90

3.3	ANALISIS GRANULOMETRICO	91
3.3.1	ARENA DE RIO COMO AGREGADO FINO PETREO PARA LA ELABORACION DE LOS MORTEROS	91
3.3.1.1	SELECCIÓN DEL AGREGADO	91
3.3.1.2	GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE RIO COMO AGREGADO	92
3.3.2	ARENA DE MINA COMO AGREGADO FINO PETREO PARA LA ELABORACION DE LOS CILINDROS PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONCRETO	94
3.3.2.1	SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS	94
3.3.2.2	GRANULOMETRÍA DE ARENA DE MINA COMO AGREGADO	95
3.3.3	EL VIDRIO COMO AGREGADO FINO VITREO USADO PARA LA ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETO	97
3.3.4	DETALLE DE LAS PRUEBAS GRANULOMETRICAS REALIZADAS AL AGREGADO FINO VITREO	99
3.4	PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS	110
3.4.1	PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA MORTERO TIPO "M" Y "S"	110
3.4.1.1	DOSIFICACION MORTERO TIPO "M" (PETREO Y VITREO)	111
3.4.1.2	DOSIFICACION MORTERO TIPO "S" (VITREO Y PETREO)	112
3.4.2	PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA CONCRETO USANDO EL AGREGADO PETREO Y VITREO	113
3.4.2.1	PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA CONCRETO DE PESO NORMAL TIPO I USANDO AGREGADO PETREO	114
3.4.2.1.1	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.5 USANDO AGREGADO PETREO	115
3.4.2.1.2	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.6 USANDO AGREGADO PETREO	117
3.4.2.1.3	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.65 USANDO AGREGADO PETREO	119
3.4.2.2	PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA CONCRETO DE PESO NORMAL TIPO I USANDO AGREGADO VITREO	121
3.4.2.2.1	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.5 USANDO AGREGADO VITREO	122
3.4.2.2.2	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.6 USANDO AGREGADO VITREO	124
3.4.2.2.3	PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.65 USANDO AGREGADO VITREO	126
3.5	PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACION DE LOS MEZCLADOS	128
3.6	PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO Y REVENIMIENTO DE CONCRETO	129

3.6.1	PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO_____	129
3.6.2	PRUEBAS DE REVENIMIENTO DE CONCRETO_____	129
3.6.2.1	PRUEBAS DE REVENIMIENTO PRACTICADAS A LAS MEZCLAS CON AGREGADO PETREO_____	130
3.6.2.2	PRUEBAS DE REVENIMIENTO PRACTICADAS A LAS MEZCLAS CON AGREGADO VITREO_____	130
3.7	ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO_____	130
3.8	ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE REVENIMIENTO_____	131
3.9	IMÁGENES RELACIONADAS CON LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO USANDO AGREGADO VITREO_____	132
3.10	IMÁGENES RELACIONADAS A LAS PRUEBAS DE REVENIMIENTO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO USANDO LOS DISTINTOS TIPOS DE AGREGADOS_____	137

CAPITULO 4

	RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE MORTERO_____	142
4.1	RESULTADOS ALCANZADOS EN LA ELABORACION DE DE LOS MORTEROS_____	143
4.1.1	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO PETREO_____	143
4.1.2	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO PETREO_____	143
4.1.3	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO VITREO_____	144
4.1.4	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO VITREO_____	144
4.2	ANALISIS, COMPARACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LOS MORTEROS_	145
4.2.1	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS PETREAS_____	145
4.2.2	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO VITREO_____	145
4.2.3	RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO VITREO_____	146
4.2.4	INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS EN LAS MEZCLAS	147

4.3	IMÁGENES RELACIONADAS CON LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MORTEROS	148
------------	---	-----

CAPITULO 5

	RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	151
5.1	CRITERIOS PARA EL CONTROL Y ACEPTACION DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	152
5.1.1	CRITERIOS DE ACEPTACION ESPECIFICADOS POR EL ACI 318-02	152
5.1.2	CRITERIOS ESTADISTICOS	152
5.1.3	CRITERIOS USANDO LA DISTRIBUCION NORMAL PARA LA FRECUENCIA DE RESULTADOS POR DEBAJO DEL f_c USANDO UN METODO SIMPLIFICADO	153
5.2	RESULTADOS ALCANZADOS EN LAS PRUEBAS DE COMPRESION DE CILINDROS	157
5.2.1	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO EL AGREGADO PETREO	157
5.2.1.1	RESISTENCIA ALCANZADA EN LAS PRUEBAS DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.5 Y AGREGADO PETREO	158
5.2.1.2	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.6 Y AGREGADO PETREO	161
5.2.1.3	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.65 Y AGREGADO PETREO	164
5.2.2	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO EL AGREGADO VITREO	167
5.2.2.1	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.5 Y AGREGADO VITREO A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS	168
5.2.2.1.1	RESISTENCIAS ALCANZADAS A LOS 3, 7, 14 Y 28 DÍAS	168
5.2.2.1.2	RESISTENCIAS ALCANZADAS A LOS 28 DIAS	170
5.2.2.2	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.6 Y AGREGADO VITREO	172
5.2.2.2.1	RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS	172

5.2.2.2.2	RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 28 DIAS_____	174
5.2.2.3	RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.65 Y AGREGADO VITREO_____	176
5.2.2.3.1	RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS___	176
5.2.2.3.2	RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 28 DIAS_____	178
5.3	ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL VIDRIO RECICLADO COMO AGREGADO_____	180
5.3.1	ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION DE CILINDROS_____	180
5.3.1.1	INTERPRETACIONES QUE SE INFIEREN DEL PROCESO_____	180
5.3.1.2	INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS SOBRE LA BASE ALCANZADA POR LAS MEZCLAS USANDO EL AGREGADO VITREO _____	181
5.3.2	ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS DISTINTAS FORMAS DE RUPTURA DE LOS CILINDROS_____	184
5.3.2.1	RUPTURAS DE LOS CILINDROS USANDO AGREGADOS PETREOS_____	184
5.3.2.2	RUPTURAS DE LOS CILINDROS USANDO AGREGADO VITREO_____	184
5.4	IMÁGENES RELACIONADAS A LAS RUPTURAS EXPERIMENTADAS POR LAS PROBETAS DE CONCRETO USANDO MATERIAL PETREO_____	187
5.5	IMÁGENES RELACIONADAS A LAS RUPTURAS EXPERIMENTADAS POR LAS PROBETAS DE CONCRETO USANDO MATERIAL VITREO_____	188
 CAPITULO 6		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES_____		189
6.1	CONCLUSIONES_____	190
6.2	RECOMENDACIONES_____	192
BIBLIOGRAFIA_____		194

CAPITULO 1

ANTEPROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

CIUDAD DE NUEVA YORK.

El concreto de vidrio no es un concepto nuevo. La idea de usar vidrio reciclado como un agregado para el concreto a estado desde al menos 30 años. En su laboratorio en New York, Carretón Meyer y su equipo han creado una exitosa receta para una durable y fuerte forma de concreto de vidrio; con la asistencia de la Empresa de Ciencia y Tecnología de Columbia (Columbinas Sáciense and Tecnología Ventares, S&TV), se ha desarrollado activamente las posibilidades comerciales del mismo, desechando así los argumentos de los que piensan que construir con el concreto de vidrio es demasiado caro o arriesgado porque Columbia está en contacto con un número de compañías capaces de producir su producto innovador. Por ejemplo, la compañía de azulejos Wausau, está todavía produciendo en masa azulejos de terrazo, y otros productos de concreto de vidrio bajo la licencia de Columbia. Dependiendo de los gustos del consumidor el concreto de vidrio puede ser producido con partículas de vidrio con diferentes tamaño y colores combinados con una adaptable matriz coloreada como fondo – arquitectos y diseñadores están comprobando que el concreto no es solamente ambientalmente solido pero puede ser colocado estéticamente. Todavía, tales productos de altas gamas o valores añadidos pueden absorber solo tanto de las millones de toneladas de desperdicio de vidrio colectados en las municipalidades en lo amplio de la nación.

AUSTRALIA.

Científicos australianos por su parte han dado luz verde a usar desperdicios de vidrio en la construcción de concreto. Esto significa que el concilio local, recicladores, ingenieros municipales, y contratistas privados pueden ver usar concreto de vidrio para un rango de aplicaciones de construcción incluyendo rutas de bicicletas, aceras, bordes, y trabajos similares.

El Dr. Kwas Sigue prensil de CSIRO Ingeniería de Materiales Sostenibles dice:

“Hemos llevado a cabo extensivas pruebas de campo y laboratorio que han mostrado que el desperdicio de vidrio que es triturado es fuerte, seguro y económico cuando es usado como un sustituto de la arena en el concreto. Nuestros estudios han mostrado que los nuevos usos para desperdicios de vidrio en el concreto significan una oportunidad que próximamente todo el vidrio que hoy es tirado pueda ser triturado y puesto en un buen uso. SCRIO ha preparado una guía para concreto premezclado utilizando vidrio triturado.”

El Dr. Sigue Prensil dice, “Los datos para estas guías han sido generados desde las extensivas pruebas de desempeño de materiales a corto plazo de CSRIO envolviendo evaluaciones de laboratorio y campo de concreto premezclado incorporando más de 20% de vidrio triturado licuado con arena convencional para reunir las gradaciones especificadas de la industria”. Pasar esto a las conclusiones del trabajo final.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La industria de la construcción, exige cantidades exorbitantes de materiales pétreos para elaborar concreto.

En la zona oriental los alrededores de las localidades donde se dedican a la extracción de dicho material tienen un alto costo en lo que se refiere a deforestación y contaminación del aire producido por las partículas de polvo. A largo plazo, lo anterior contribuye a la disminución de los mantos acuíferos y a la elevación de la temperatura en la zona y a nivel mundial

Es necesario investigar alternativas dirigidas al mejoramiento de las mezclas de concreto; no solo para que mitiguen el deterioro del ambiente, sino también para mejorar las capacidades de las mimas. (Ver foto 1.2)



Figura 1.2. A y B. Imagen satelital donde se muestra el impacto ambiental de la extracción de material pétreo en los alrededores de la Laguna de Aramuaca, San Miguel.

De los tantos materiales que desechamos en la zona oriental, el vidrio es uno de los que más peligros ocasionan. En la zona oriental la presencia de empresas que reciclen este material es casi nula. Este material puede acumularse y clasificarse pero está lejos de volver a reutilizarse.

En la zona, los talleres que se dedican a trabajar el vidrio y que producen desechos y desperdicios del mismo; no pueden muchas veces ir al basurero local a depositarlo porque se les exige pagar un impuesto para ello que muchas veces no están en condiciones de cubrir y por lo tanto optan tener los desechos del vidrio en su local de trabajo o lo depositan irresponsablemente en un botadero a cielo abierto (ver foto 1.3 y 1.4).



Figura 1.3. Imagen de botadero a cielo abierto donde se aprecian botellas de vidrio sin reciclar.



Figura 1.4. Imagen que muestra la acumulación de vidrio en un taller local de ventanearía en nuestra ciudad.

1.3 PREGUNTAS DE LA INVESTIGACION

PREGUNTA PRINCIPAL:

¿Se puede por medio de un estudio exploratorio comprobar si el vidrio reciclado es apto para usar en el diseño de mezcla como agregado sin que afecte de manera significativa la resistencia y trabajabilidad?

PREGUNTAS SECUNDARIAS:

Usando el vidrio como agregado y las pruebas de compresión de cilindros de concreto ¿Cuánta resistencia es capaz de ganar o perder las mezclas de concreto usando vidrio reciclado como agregado con respecto a las mezclas de concreto que utilizan el agregado pétreo?

Usando el vidrio como agregado y la prueba de revenimiento para las mezclas de concreto ¿Cómo se ve afectado el revenimiento de las mezclas que usan el agregado vítreo con respecto a las mezclas que utilizan el agregado pétreo?

Usando el vidrio como agregado y las pruebas de compresión de cubos de mortero ¿Cuánta resistencia es capaz de ganar o perder las mezclas de mortero tipo M y S usando el vidrio reciclado como agregado con respecto a las mezclas del mismo tipo que usan el agregado pétreo?

Usando el vidrio como agregado y las pruebas de fluidez para las mezclas de morteros ¿Cómo se ve afectada la fluidez de las mezclas que usan el agregado vítreo con respecto a las mezclas que utilizan el agregado pétreo?

1.4 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Este tema merece investigación por las siguientes razones:

- A nivel de facultad, nunca se ha llevado a cabo un proyecto diseño de mezclas, este sería el primero en su clase en hacerse no solo en base a la norma ACI 211.1-91; sino también que se arrancaría con un tema novedoso que en los países desarrollados como USA, Australia y Japón, entre algunos, ya ha dado muestras de ser viable.

- Al dar aval a este proyecto, el departamento de Ing. Y Arq. , está en condiciones de entrar a una investigación de Ingeniería de Materiales, con posibles aplicaciones al campo arquitectónico que los estudiantes de dicha carrera decidirían aplicar al conocer los resultados de esta investigación.
- En el campo de la ingeniería civil propiamente dicho, podría presentarse una alternativa para alcanzar resistencia estructural a partir de esta nueva tecnología.
- Esta investigación daría base a futuras investigaciones que amplíen aun más los alcances de experimentar a futuro con otro tipo de materiales, ya sea por los alumnos o profesionales del área de la Ing. civil interesados en el tema. Con lo cual en el área de proyección social de la FMO, estaría elevando la calidad en los profesionales y de las innovaciones en edificaciones de la región.
- De tener éxito la investigación se estaría demostrando a nivel de la región, que el vidrio reciclado cumpliría nuevas funciones como el decorado, textura, uso estructural en las edificaciones. Con lo cual, se estaría justificando el reciclaje a gran escala de este material por parte de las empresas constructoras que podrían evitar que este material llegue a los botaderos en donde pone en peligro la vida y salud de las personas que en ellos trabajan.
- En el departamento de San Miguel, específicamente en el ex botadero de Uluazapa, cuyos trabajos para convertirlo en un relleno sanitario están por finalizar, se tendrá que llevar a cabo, obligatoriamente, la separación del vidrio de los demás desechos sólidos. Con ello, el gobierno local se verá en la situación de darle a la acumulación de este material una salida ya sea comercial o creativa en donde cabría la aplicación que esta investigación podría darle a dicho material. Ya que el uso del relleno sanitario y el reglamento del mismo prohíbe que el vidrio sea tratado como desecho sólido ordinario.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

GENERALES:

- señalar aspectos generales de la resistencia y la trabajabilidad del concreto y mortero, al ser usado como agregado el vidrio reciclado en distintas mezclas.

ESPECIFICOS:

- Diseñar mezclas que satisfagan los requerimientos de un revenimiento de 6 pulgadas (Según ACI 211.1-91 tabla 6.3.3. es el máximo que puede alcanzarse sin usar aditivos), con variabilidad de relaciones agua-cemento de 0.5, 0.60 y 0.65 para compresión y utilizando este tipo de agregado.
- Determinar cómo el uso del vidrio usado como agregado afecta otras propiedades del concreto como su trabajabilidad, resistencia a la compresión.
- Determinar por medio de las pruebas de compresión de cilindros de concretos y cubos de mortero si las mezclas que usan el vidrio reciclado pueden tener uso estructural o arquitectónico.

1.6 HIPÓTESIS.

HIPOTESIS 1

El vidrio reciclado usado como agregado en las mezclas de concreto puede alcanzar o superar la resistencia de 210 kg/cm² de acuerdo a la norma ACI 318S-05

HIPOTESIS 2

El vidrio reciclado usado como agregado en las mezclas de concreto puede igual o tener mejor trabajabilidad que el alcanzado por las mezclas que usan el agregado pétreo en base a la norma ASTM C 143-00 y la ACI 117-06

HIPÓTESIS 3

El vidrio reciclado usado como agregado en las mezclas de mortero tipo M y S puede alcanzar o superar las resistencias de 175 kg/cm² para el caso del tipo M y 125 kg/cm² para el caso del tipo S, en base a la norma ASTM C 109-02

HIPÓTESIS 4

El vidrio reciclado usado como agregado en las mezclas de mortero tipo M y S puede igualar o tener mejor fluidez que la alcanzada por las mezclas que usan el agregado vítreo según lo que especifica la norma ASTM C 270-02.

1.7 ALCANCES.

- Esta investigación se llevará a cabo en gran medida con los tipos de vidrios usados en nuestra región, sobre todo restos de ventanearía. Es decir, no se experimentará con tipos especiales de vidrios, ya que entre

otras cosas el proyecto trata de reciclar los desechos de este material que dejan nuestras edificaciones, y no de cómo mejorar la calidad de un concreto en base a la calidad del vidrio como material agregado.

- Proponer un uso alternativo para este material en la construcción.
- Las pruebas que se usaran en los diseños serán la prueba de compresión de cilindros de concreto, pruebas de fluidez de mortero, prueba de revenimiento, prueba de grado de absorción para agregado, etc.
- Extender, la aplicabilidad de la norma ACI 211.1-91 que rige el diseño de mezclas de concreto con agregados pétreos, Y aplicarla a la vez con el diseño de concreto con vidrio como agregado.

1.8 LIMITACIONES

- Se limitara la investigación al uso de cemento tipo I, no se investigará resultados en concreto de peso ligero, pesado y concreto con aire incluido, en vista de que el actual laboratorio no cuenta con los equipos para medir las propiedades adicionales de estos concretos y para no alargar el tiempo que debe durar esta investigación.
- Para los resultados que este proyecto pretende conocer, se limitará la investigación a un diseño de la resistencia 210 kg/cm^2 ; esto debido a que extender la investigación a resistencia superiores (280 y 350 kg/cm^2) presenta los siguientes inconvenientes : primero, que en la zona la mayoría de las construcciones se llevan a cabo con una resistencia de 210 kg/cm^2 ; segundo, que esta resistencia es suficiente para determinar si el concreto puede tener un uso de carácter estructural; y tercero, que excede los recursos y tiempo para presentar este de trabajo de graduación.
- El actual laboratorio posee solo de 16 cilindros de dimensión estándar para concreto que limita disposición de los mismos.
- En el caso de las pruebas de resistencia de morteros el número máximo de las pruebas que se puede llevar a cabo en esta línea serán solo de 9, ya que esa es la cantidad de moldes que actualmente posee el laboratorio de suelos y materiales de la FMO.
- Por ser más preciso, y mucho más confiable que el método de los volúmenes absolutos, en este trabajo de investigación, se llevara a cabo exclusivamente con el método de los pesos, propuesto por el ACI 211.1-91, dejando para futuras investigaciones el comprobar los posibles

resultados por otros métodos. Esto es porque entre otras cosas, las condiciones actuales del laboratorio el método de los pesos es el más accesible.

- Las precisiones de las balanzas oscilan entre 5 gr para las grandes y de 0.1 gr para las pequeñas que son de forma de cuchara. Esto último limita el poder pesar las taras de medianas dimensiones.
- En el actual laboratorio no posee, canastillas, matraces ni picnómetros lo cual afectara la en alguna medida la obtención de los pesos específicos de algunos agregados.
- La forma de reducción de los agregados vítreos se realizara de forma manual. Lo cual afectara la dimensión mínima que es capaz de lograrse por dicho método.

1.9 MÉTODO.

1.9.1 TIPO DE ESTUDIO:

De carácter exploratorio investigativo enfocado al campo de uso de nuevos materiales, específicamente un nuevo tipo de concreto.

1.9.2 DISEÑO DEL ESTUDIO:

Se hará uso del equipo existente en el actual laboratorio de suelos y materiales, para diseñar mezclas de concreto y mortero tomando como guía lo prescrito en el método ACI 211.1-91.

Con este equipo de laboratorio se tratara de trabajar lo más cercano posible a las condiciones mínimas de trabajo en una construcción ordinaria de la zona oriental, esto con el fin de que los diseños a los que lográsemos llegar puedan ser reproducidos en dichas condiciones.

De los resultados que arrojen estas muestras se podrán identificar los efectos que el uso del vidrio reciclado usado como agregado ejerce sobre el concreto y sobre el mortero tal como los conocemos, dando un aporte ingenieril aunado al criterio arquitectónico para el uno y el otro.

Al finalizar este estudio se estará en condiciones de proponer algunas líneas generales para que en el laboratorio de suelos y materiales de la FMO puedan producirse diseños de mezcla de este tipo, con controles de calidad aceptables para los constructores de la zona; así como para su difusión.

Se trabajara con el método de “peso” descrito en la norma ACI 211.1-91, para ello el laboratorio cuenta con, balanzas de 100g de precisión, a 140Kg de carga máxima, con los cuales se dosificaran los distintos ingredientes para producir el concreto, se dejara de lado el método de “Volúmenes absolutos” por la consideración que hay mas variabilidad en los resultados por su imprecisión.

1.9.3 UNIVERSO, POBLACION Y MUESTRA:

1.9.3.1 CUBOS PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE MORTEROS:

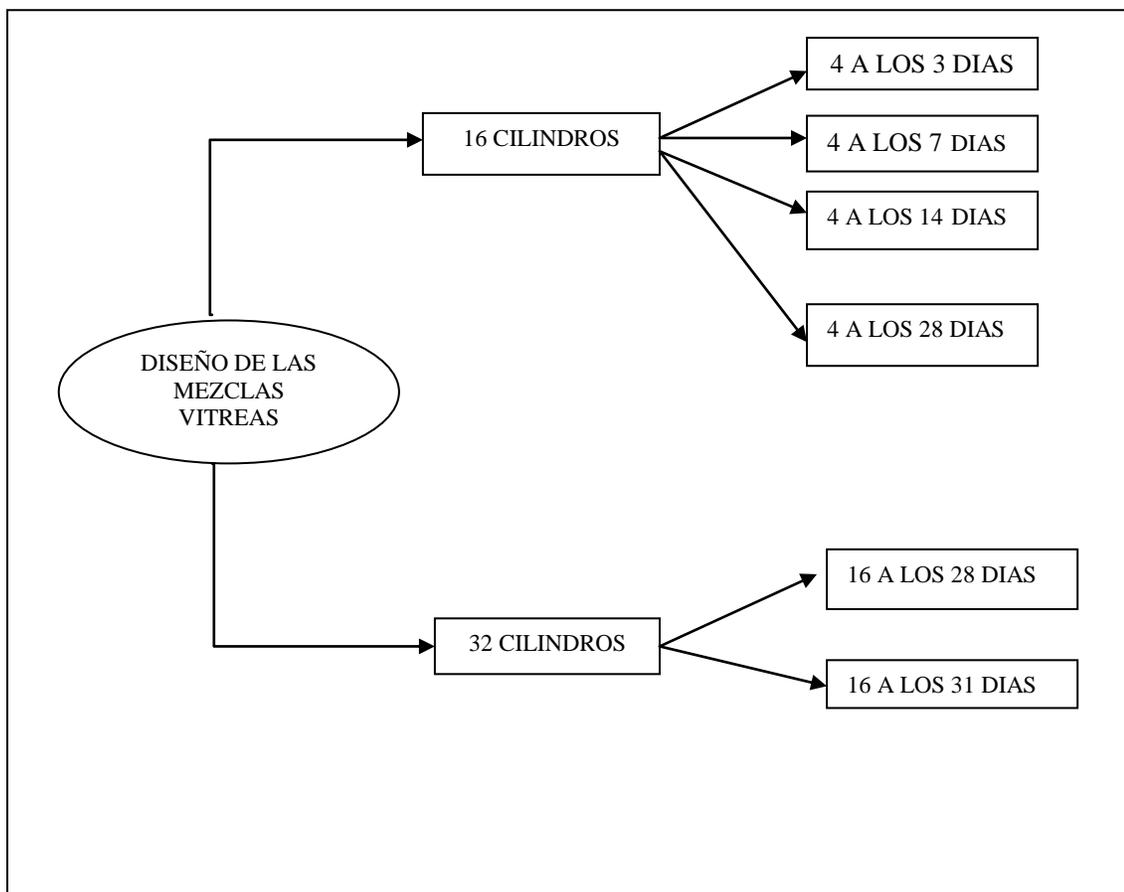
Adicional a lo arriba mencionado, se realizará un análisis de 36 cubos para la prueba de compresión de morteros (18 por cada diseño, 9 usando pétreo y 9 usando vidrio); en este proyecto se buscara determinar los resultados de adicionar vidrio reciclado como agregado a los diseños correspondientes a las resistencias de 175 y 125 kg/cm²

1.9.3.2 CILINDROS PARA PRUEBA DE COMPRESION:

Para el diseño de mezclas de concreto, esta prueba consta con un universo muestral de aproximadamente 240 pruebas (80 cilindros por cada diseño que intentemos implementar, cada diseño corresponde a las relaciones A/C de 0.5, 0.6 y 0.65), de este universo, se determinaran los elementos estadísticos pertinentes para demostrar la desviación estándar de cada diseño que se pretende alcanzar, haciendo para ello, uso de los cálculos que el ISCYC ha facilitado.

Para el caso de los cilindros se realizaran 5 veces el mezclado en distintos tiempos. Los primeros dos de ellos, son para las pruebas de diseño usando pétreos como agregados. Esto con el fin de compararlos después con los resultados de los diseños en los cuales se utilizo el vidrio reciclado. El tercero de ellos, corresponde al necesario para apreciar el comportamiento de la resistencia ganada conforme al tiempo (curva resistencia-edad) en los especímenes en los cuales se utilizo el vidrio como agregado. Los dos restantes son los correspondientes a la parte necesaria para determinar la efectividad de la reproducción de la mezcla comprobada con la resistencia ganada a los 28 días (ACI 211.1-91).

Se anexa un cronograma a este documento para especificar las secuencias de estos tiempos. La figura que viene a continuación da una mejor idea de este proceso.



Los 31 días de desfase en la segunda fase de la figura corresponde al tiempo en que se espera fragüen los primeros cilindros a los 3 días después del primer colado para poder hacer uso nuevamente de los moldes.

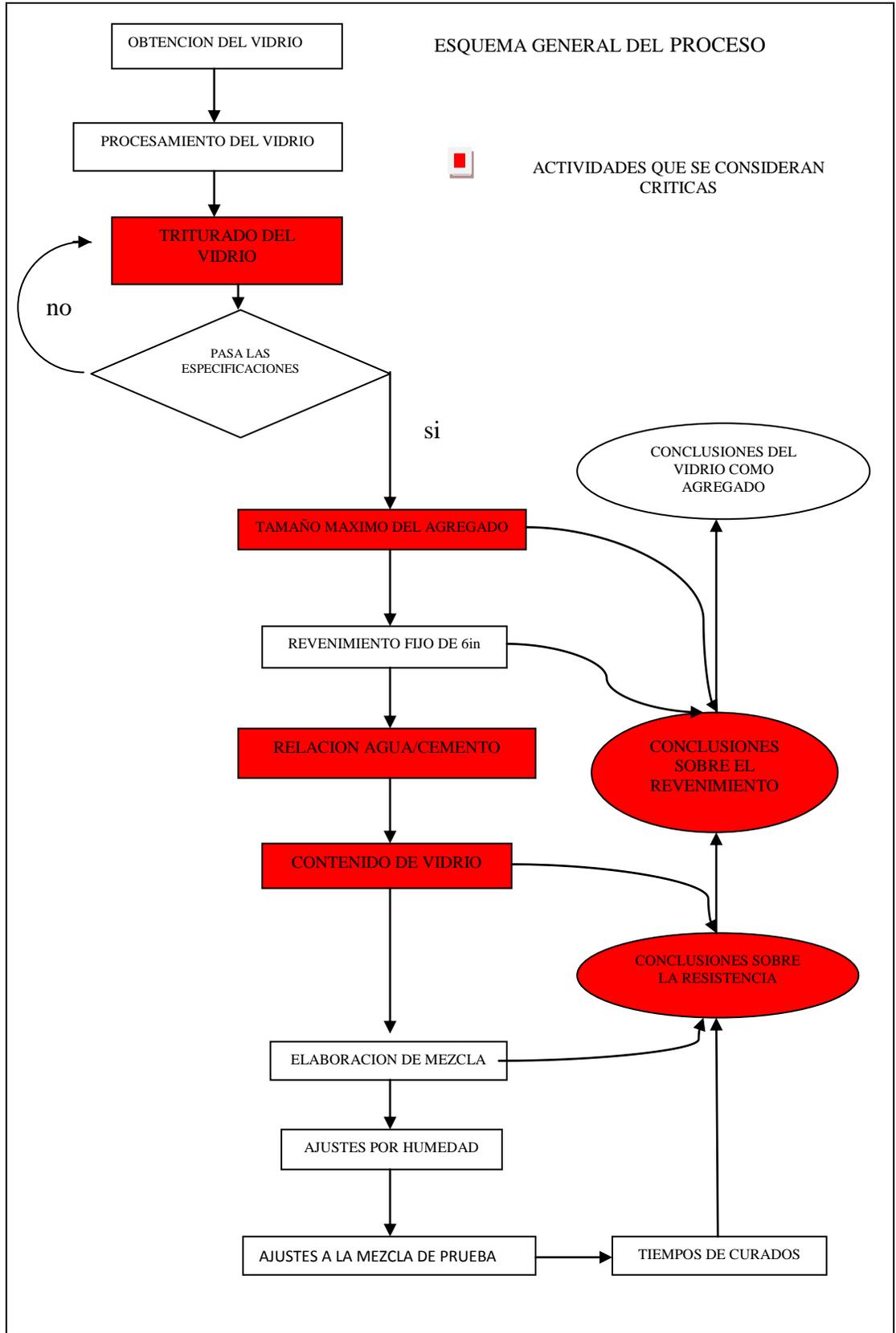
1.9.4 OPERALIZACION DE LAS VARIABLES:

Además de las múltiples variables que gobiernan la elaboración del concreto con agregados pétreos, este proyecto de investigación, tendrá que lidiar con algunas de las cuales no se tienen mayor conocimiento de su comportamiento y en ello, es precisamente, los que busca determinar esta investigación.

Estas variables han sido esquematizadas en la figura de la siguiente página. Entre ellas se identifican como críticas aquellas marcadas con rojo. Las demás que no están marcadas son las que afectan la elaboración de un buen concreto; pero que no son motivos de investigación de este proyecto.

El tratamiento de estas variables se detalla a continuación:

- **Triturado del vidrio:** el triturado se llevara a cabos con pequeños molinillos de uso domestico de 2 libras de capacidad, combinado con apisonamiento, a través de estos métodos, se pretende llegar a un tamaño aceptable para llevarlo a las pruebas de granulometrías. Los fragmentos que no logren llegar a las formas aceptables ni que pasen las mallas de clasificación serán molidos nuevamente a fin de que logren ser aceptables a las pruebas.
- **La elección del revenimiento:** Se tomara un revenimiento fijo de 6 pul, porque es un revenimiento bastante aceptable, es mínimo recomendado para colar columnas, vigas y losas, ó sea, elementos con bastante armadura. Al ser el mayor revenimiento que se puede alcanzar sin usar aditivos, implica que se pueden alcanzar los revenimientos inferiores. Referencia tabla 6.3.3 ACI 211.1-91 ver notas bajo la tabla (ver anexos).
- **Contenido de vidrio en las mezclas:** en principio será tratado con las mismas consideraciones del agregado pétreo, los resultados obtenidos nos reflejaran como estos contenidos han afectados a las distintas resistencias a que este proyecto planea llegar.
- **Proceso de Mezclado:** este se llevara a cabo siguiendo los márgenes establecidos por las normas ACI y ASTM, teniendo el debido cuidado de no contaminar las mezclas, ni dejándolas a la intemperie más tiempo del necesario que el de llenado de los cilindros. Los sobrantes de mezclas serán desechados y no se incorporaran al siguiente mezclado para el mismo diseño.



1.9.5 INSTRUMENTO PARA RECOLECTAR DATOS DE INVESTIGACION:

Los resultados que busca este proyecto serán principalmente obtenidos por pruebas que en el laboratorio está en disposición de realizar las cuales las se han clasificado según los tiempos de operación:

1. Pruebas antes del mezclado practicadas al nuevo material:
Granulometría, Sanidad de agregados y determinación del posible grado de humedad de los mismos.
2. Pruebas antes del amoldado de los especímenes: prueba de revenimiento y fluidez de mortero.
3. Pruebas finales de los especímenes: específicamente la prueba a compresión de cilindros y cubos para concretos y morteros.

Por cada colado de diseño (16 cilindros), se realizara la prueba de compresión de las muestras, en el siguiente orden:

1. 4 cilindro a los 3 días después de colados
2. 4 a los 7 días,
3. 4 a los 14 días y
4. 4 a los 28 días que alcanza su máxima resistencia.
5. Un lote de 32 cilindros colados de la siguiente manera: un lote de 16 cilindros en el primer colado y un lote de otros 16 cilindros colado con 3 días después del primero en base a lo prescrito en el ACI 318 (ver anexos ACI 318S R5.3)

En cada uno de estos días se busca determinar el porcentaje de resistencia ganado por la muestra, para luego dibujar las curvas esfuerzo-deformación y resistencia-relación A/C para sacar conclusiones.

Y para el segundo lote (de 32 cilindros) se busca determinar los resultados exclusivos de la resistencia ganada a los 28 días.

1.9.6 TRATAMIENTO DE ANALISIS DE DATOS

Luego de obtener los resultados de todas las pruebas de laboratorio, estas serán impresas en un reporte completo que estará plasmado en el documento final con sus respectivas memorias de cálculos, gráficos de resistencia-edad, gráficos resistencia-relación A/C y fotos tomadas durante todo el proceso para facilitar el seguimiento. Se usaran los métodos estadísticos pertinentes para demostrar o rechazar la hipótesis

Cuadro comparativo para demostrar la Hipótesis

A/C	Con pétreos	Con vidrio	Descripción
0.5			Resistencia a compresión $f'c$
0.6			
0.65			
M			Compresión de Morteros
S			

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CONCRETO:

2.1.1 CONCEPTO GENERAL:

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

La pasta está compuesta de Cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. La figura " A " muestra que el volumen absoluto del Cemento está comprendido usualmente entre el 7 y el 15 % y el agua entre el 14 y el 21 %. El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Como los agregados constituyen aproximadamente el 60 al 75 % del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado

está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

2.1.2 MEZCLAS DE CONCRETO:

2.1.2.1 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- a)** Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b)** Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). Sin embargo antes de pasar a ver los métodos de diseño en uso común en este momento, será de mucha utilidad revisar, en más detalle, las consideraciones básicas de diseño.

2.1.3 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO:

2.1.3.1 DOSIFICACIÓN.

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el concreto a fin de obtener la trabajabilidad, resistencia durabilidad requerida. La dosificación debe basarse en múltiples factores tales como:

- 1) qué elementos se van a vaciar;
- 2) qué condiciones ambientales deberán soportar (humedad);
- 3) qué materiales;
- 4) procedimientos de mezclado;
- 5) colocación;
- 6) curado se van a emplear en la obra, etc.

Dada la complejidad del problema se han desarrollado numerosos métodos de dosificación.

2.1.3.2 RELACIÓN AGUA CEMENTO.

Todos los métodos de dosificación destacan la importancia de la relación entre las proporciones de agua y cemento en el concreto. Ambos materiales forman una pasta que al endurecer actúa como aglomerante manteniendo unidos los granos de los agregados. A medida que aumente la dosis de agua la pasta de cemento se diluye, el concreto se hace mas trabajable sin embargo, disminuye su resistencia y durabilidad.

2.1.3.3 TRABAJABILIDAD.

Una mezcla es aquella que puede colocarse sin dificultad y que con los métodos de compactación disponibles permite obtener concretos densos. Al mismo tiempo la mezcla debe tener suficiente mortero para envolver completamente la piedra y las armaduras y obtener superficies lisas sin porosidades ni nidos de piedra. En otras palabras, debe llenar completamente los huecos entre las piedras y asegurar una mezcla plástica y uniforme. Una

mezcla trabajable para un tipo de elemento puede ser muy dura para otro. Por ello el concreto que se coloca en elementos delgados o con mucha armadura debe ser más plástico que el de construcción masiva.

2.1.3.4 METODO DE LOS PESOS

El procedimiento de pesos volumétricos se basa en una estimación del peso del concreto por volumen unitario, mientras que el procedimiento de volúmenes absolutos se basa en cálculos del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto.

Si el peso por unidad de volumen del concreto es asumido o puede ser estimado de la experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. A menudo el peso unitario de concreto es conocido con una razonable precisión de la experiencia previa con los materiales. En la ausencia de tal información, la tabla 6.3.7.1 (**ACI 211.1-91**) puede ser usada para hacer una primera estimación. Incluso si la primera estimación del peso de concreto por Yds³ es áspera, las proporciones de mezcla serán suficientemente exactas para permitir ajustes fáciles en base a mezclas de prueba como se mostrara en los ejemplos.

Tabla 6.3.7.1 (ACI 211.1-91) – Primera estimación de peso de concreto fresco

Tamaño máximo nominal de agregado, in	Primera estimación de peso de concreto Lb/ ft ³ *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
3/8	3840	3710
½	3890	3760
¾	3960	3840
1	4010	3850
1 ½	4070	3910
2	4120	3950
3	4200	4040
6	4260	4110

Ejemplo 1 (ACI 211.1-91)

La resistencia promedio requerida será 24Mpa con un revenimiento de 75 a 100mm. El agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 37.5mm y una masa seca-varillada de 1600Kg/m³. Otras propiedades de los ingredientes son: Cemento – tipo I con gravedad específica de 3.15; agregado grueso – denso gravedad específica 2.68 y absorción 0.5 por ciento; agregado fino – denso gravedad específica 2.64, absorción 0.7 por ciento, y modulo de finura 2.8. A2.2 Todos los pasos de la sección 5.3 del ACI deberían ser seguidos en secuencia para evitar confusión, incluso aunque ellos a veces simplemente devuelvan información ya dada.

- *Paso 1* – El revenimiento requerido será 17 a 100mm.
- *Paso 2* – El agregado a ser usado tiene un tamaño máximo nominal de 37.5mm.
- *Paso 3* – El concreto será sin aire incluido desde que la estructura no estará expuesta a clima severo. De la tabla A1.5.3.3 (**ACI 211.1-91**), el agua de mezclado estimada para un revenimiento

de 75 a 100mm en concreto sin aire incluido hecho con agregado de 37.5mm se encuentra será 181Kg/m³.

- *Paso 4* – La relación agua-cemento para concreto sin aire incluido con una resistencia de 24Mpa se encuentra en la tabla A1.5.3.4(a) será 0.62.
- *Paso 5* – De la información desarrollada en los pasos 3 y 4, el contenido requerido de cemento se encuentra será $181/0.62 = 292 \text{ Kg/m}^3$.
- *Paso 6* – La cantidad de agregado grueso es estimada de la tabla A1.5.3.6 (**ACI 211.1-91**). para un agregado fino teniendo un modulo de finura de 2.8 y un agregado grueso con un tamaño máximo nominal de 37.5mm, la tabla indica que 0.71m³ de agregado grueso, en una base seca-varillada, deben ser usados en cada metro cubico de concreto. La masa seca requerida es, por tanto, $0.71 \times 1600 = 1136 \text{ Kg}$.
- *Paso 7* – Con las cantidades de agua, cemento, y agregado grueso establecidas, el material restante que comprende el metro cubico de concreto debe consistir de agregado fino y cualquier aire será atrapado. El agregado fino requerido debe ser determinado en base de cualquier masa o volumen absoluto como se muestra abajo;
 - *Paso 7.1* – De la tabla A1.5.3.7.1 (**ACI 211.1-91**), la masa de un metro cubico de concreto sin aire incluido hecho con agregado teniendo un tamaño máximo nominal de 37.5mm es estimado será 24.10Kg. (para una primera muestra de prueba,

ajustes exactos en este valor para diferencias usuales en revenimiento, factor cemento, y gravedad específica de agregados no son críticas) Las masas ya conocidas son: Agua (neta de mezclado) 181Kg Cemento 292Kg Agregado grueso 1136Kg Total 1609Kg La masa de agregado fino, por tanto, es estimada será:
 $2410 - 1609 = 801\text{Kg}$.

2.1.3.5 METODO DE LOS VOLUMENES

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregado fino se basa en el uso de los volúmenes de los ingredientes. En este caso, el volumen total de los ingredientes conocidos –agua, aire, cemento y agregado grueso- se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen que cualquier ingrediente ocupa en el concreto es igual a su peso dividido entre el peso específico de ese material (siendo este último el producto del peso unitario del agua y la densidad del material).

El peso específico del agregado utilizado en los cálculos debe ser compatible con la condición de humedad supuesta en los pesos básicos del agregado por mezcla, es decir, de la masa seca si se establecen los pesos del agregado de acuerdo a la base seca y del peso específico a granel si los pesos se establecen con agregados saturados y superficialmente secos.

2.1.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO

Un concreto plástico es una mezcla de concreto que se moldea con tanta facilidad que puede cambiar de forma lentamente si el molde se retira de inmediato. El grado de plasticidad determina la calidad y característica del producto terminado. El control de los ingredientes en la mezcla limita las variaciones en las proporciones de los mismos. Los cambios que son significativos en las proporciones de las mezclas se determinan por la prueba de revenimiento. Las características que debe tener el concreto plástico son: maleabilidad, indisgregabilidad y uniformidad. Por otra parte las cualidades esenciales de la forma final del concreto endurecido son: resistencia, durabilidad, densidad e impermeabilidad. Estas son de vital importancia para la tesis ya que basado en los resultados de estas pruebas, que se le harán a nuestro concreto, es que podremos hacer conclusiones sobre la investigación.

2.1.4.1 LA FLUIDEZ

Indica la relativa facilidad o dificultad de vaciar y consolidar el concreto en la cimbra. La consistencia de la mezcla se mide por la prueba de revenimiento y es conservada lo necesario para obtener los requerimientos de maleabilidad para condiciones y métodos de colocación específicos. Una mezcla muy seca tendrá poca contracción pero será muy difícil de colocar en secciones reforzadas; servirá para aplicarse en losas, donde no se use refuerzo. Una mezcla más fluida se puede emplear en elementos reforzados con acero. La maleabilidad está determinada por las cantidades y por las proporciones de los agregados, desde fino hasta grueso para una cantidad determinada de pasta, así como por la cantidad de agua.

Un concreto plástico deberá ser manejado en forma tal que la disgregación sea mínima y la mezcla se mantenga homogénea. Por ejemplo, para prevenir la disgregación, el concreto plástico no debe dejarse caer (caída libre) más de .91 a 1.52m (3 a 5 pies). También debe manipularse con cuidado para evitar escurrimientos.

Para lograr uniformidad, las proporciones de cada mezcla deberán seguir las especificaciones. La cualidad de uniformidad de concreto endurecido es deseable tanto por consideraciones económicas como de resistencia.

2.1.4.2 LA RESISTENCIA

Es la capacidad del concreto de soportar cargas a compresión, flexión, tensión o al cortante. Los principales factores que determina la resistencia son la relación agua-cemento, y la calidad o tipo de agregados. Estas propiedades, si no las más importantes, de las más trascendentales para la determinación de la calidad de un elemento de concreto. En nuestro caso, este parámetro va a ser el primero que rija nuestros resultados y es por eso que a continuación se hará una explicación extensa de este tema.

2.1.4.3 LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto sometido a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de estructuras.

Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas a especímenes de mortero o de concreto a una edad de 28 días. Los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y el valor obtenido de esta prueba se define como f_c .

2.1.4.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Otro índice importante a tomar en cuenta es este, que se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto, es decir, una medida de la resistencia a la falla por momento de una

viga o losa de concreto no reforzada. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada modulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. El módulo de ruptura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorios para los materiales dados y el diseño de la mezcla.

2.1.4.5 LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Es la capacidad de la masa endurecida de resistir los efectos de los elementos, tales como la acción del viento, escarcha, nieve, hielo, la reacción química de los suelos o los efectos de la sal y la abrasión. La durabilidad tiene una estrecha relación con el clima. A medida que aumenta la proporción agua-cemento la durabilidad disminuye. Los cementos porosos, producen concreto de alta durabilidad. Esta particularidad será tomada en cuenta en la investigación aunque no de manera formal sino únicamente de forma visual. Es decir, al ir haciendo las pruebas correspondientes habrá observaciones importantes que se anotaran y tomaran en cuenta para las futuras conclusiones. Ya que trataremos con materiales de los cuales se tiene poco o ningún antecedente que nos indique el comportamiento que tiene al mezclarse con cemento, es posible que cuestiones climáticas afecten la parte química de los elementos, dando como resultado observaciones trascendentales.

2.1.4.6 LA IMPERMEABILIDAD

Propiedad de un material para oponerse al paso de líquidos o gases, es un requisito indispensable en el concreto, ya que ésta determina posibles filtraciones, es decir, el paso del agua por el mismo. Las pruebas demuestran

que esta propiedad de la pasta depende de la cantidad de agua en la mezcla y de las reacciones químicas entre el cemento y el agua. Como ya se mencionó anteriormente, es muy posible que los desperdicios industriales que sean añadidos a la mezcla de concreto, produzcan cambios químicos que afecten la impermeabilidad, entre otras propiedades, del concreto y es por eso que al mencionarse se busca dar cierto marco teórico sobre algunas de las posibles consecuencias obtenidas.

2.1.5 PRUEBAS EN EL CONCRETO.

Aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias.

En este apartado se encuentran detallados los ensayos realizados en esta tesis, aunque existen un gran número de pruebas que se le realizan al concreto, ya sea en su estado fresco o endurecido, se hace énfasis en los 2 ensayos más comunes realizados en nuestro medio, que son los que se realizaron con fines prácticos para verificar la resistencia de la mezcla elaborada, estos ensayos son:

1. REVENIMIENTO (Ensayo realizado para concreto Fresco)
2. COMPRESION DE CILINDROS (Ensayo realizado para concreto endurecido)

2.1.5.1 DEFINICIÓN DE TRABAJABILIDAD

Un concreto que se puede compactar con facilidad se dice que es trabajable, pero decir meramente que la trabajabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación es una descripción demasiado vaga de esta propiedad vital del concreto. Además, la trabajabilidad deseada en cualquier caso particular dependería del medio de compactación disponible; igualmente, una trabajabilidad conveniente para concreto masivo no es necesariamente eficiente para secciones delgadas, inaccesibles o altamente reforzadas. Por estas razones, la trabajabilidad se debería definir como una propiedad física del concreto sólo con referencia a las circunstancias de un tipo particular de construcción.

Para obtener tal definición es necesario considerar lo que sucede cuando el concreto se está compactando. Ya sea que la compactación se realice por apisonado o por vibración, el proceso se compone esencialmente de la eliminación del aire atrapado en el concreto hasta alcanzar una configuración tan compactada como sea posible para una mezcla dada. Así, el trabajo hecho se usa para vencer la fricción dentro las partículas individuales del concreto, y también entre el concreto y la superficie del molde o del refuerzo. Estas se pueden llamar fricción interna y fricción superficial respectivamente. Además, algo del trabajo hecho se emplea en vibrar el molde o en sacudirlo y, verdad, en vibrar aquellas partes del concreto que ya se han compactado plenamente. La trabajabilidad se puede definir mejor como la cantidad de trabajo interno útil necesario para producir compactación total, pues sólo la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla.

La definición de la norma ASTM C 125-93 de trabajabilidad es algo más cualitativa: **“propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto acabado de mezclar con una pérdida mínima de homogeneidad”**. La definición de trabajabilidad del ACI, dada en ACI 116R-90,446 es; **“aquella propiedad del concreto o mortero acabado de mezclar que determina la facilidad y homogeneidad con las cuales se puede mezclar, colocar, compactar y acabar”**.

La literatura técnica abunda en variaciones de definiciones de trabajabilidad y de consistencia, pero todas son de naturaleza cualitativa y más reflexiones desde un punto de vista personal, que de la precisión científica. Lo mismo se aplica a la plétora de términos tales como fluidez, movilidad y bombeabilidad. Existe también un término, "estabilidad", que se refiere a la cohesión de la mezcla, esto es, su resistencia a la segregación. Estos términos, sí tienen significado específico, pero sólo por causa de un juego de circunstancias dadas; ellos raramente se pueden usar como una descripción objetiva y cuantificable de una mezcla de concreto.

2.1.5.2 LOS FACTORES QUE AFECTAN A LA TRABAJABILIDAD

El factor principal es el contenido de agua de la mezcla, expresado en kilogramos (o litros) de agua por metro cúbico de concreto: es conveniente (aunque aproximado) suponer que, para un tipo dado de granulometría de agregado y de la trabajabilidad del concreto, el contenido de agua sea independiente de la relación de agregado/cemento o del contenido de cemento de la mezcla. Sobre la base de esta suposición, las proporciones de concreto de riqueza diferente se pueden estimar.

Si el contenido de agua y las otras proporciones de la mezcla están fijos, la trabajabilidad se rige con el tamaño máximo de agregado, su granulometría, forma y textura. Sin embargo, la granulometría y la relación agua/cemento se han de considerar juntas, ya que una granulometría que produce el concreto más trabajable para un valor particular de relación agua/cemento puede no ser la mejor para otro valor de la relación. Especialmente, cuanto más alta sea la relación agua/cemento, tanto más fina será la granulometría requerida para la más alta trabajabilidad. En realidad, para un valor dado de la relación agua/cemento, existe un valor de la relación de agregados grueso/fino (usando materiales dados) que da la más alta trabajabilidad. Inversamente, para una trabajabilidad dada, hay un valor de la relación de agregados grueso/fino que necesita el mínimo contenido de agua.

2.1.5.3 MEDICIÓN DE LA TRABAJABILIDAD

Desafortunadamente, no hay prueba aceptable que mida la trabajabilidad en forma directa. No obstante, se han hecho numerosos intentos, para correlacionar la trabajabilidad con alguna medición física determinable con facilidad, pero ninguna de éstas es plenamente satisfactoria aunque puedan proporcionar información útil dentro de una escala de variación de trabajabilidad.

2.1.5.4 PRUEBA DE REVENIMIENTO

Esta es una prueba usada extensamente en el campo en todo el mundo. La prueba de revenimiento no mide la trabajabilidad, aunque ACÍ 116 R-90 la describe como una medida de consistencia, pero la prueba es muy útil en la revelación de variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones nominales dadas.

La norma ASTM C 143-90 y la describe la prueba. El molde para la prueba de revenimiento es un cono truncado de 30 cm de alto que se coloca sobre una superficie lisa, con la abertura menor en la parte superior, y se llena con concreto en tres capas. Cada capa se apisona 25 veces con una varilla de acero normal de 15 mm de diámetro, redondeada en el extremo, y la superficie superior se recorta por medio de un movimiento de aserrar y rodar de la varilla de apisonar. El molde se debe sostener firmemente contra su base durante toda la operación; esto se facilita por manijas y apoyos de pies soldados al molde.

Inmediatamente después del llenado, el cono se levanta lentamente, y el concreto sin soporte ahora se va a revenir de aquí el nombre de la prueba. La disminución en la altura del concreto revenido se llama revenimiento y se mide hasta los 5 mm más cercanos. La disminución se mide hasta el punto más alto, pero de acuerdo con la norma ASTM C 143-90, hasta el "centro desplazado original". Para reducir la influencia que sobre el revenimiento tiene la variación en fricción superficial, el interior del molde y su base se deberán humedecer al comienzo de cada prueba, y, antes de levantar el molde, el área

que está inmediatamente alrededor de la base del cono se deberá limpiar del concreto que pueda haber caído accidentalmente.

Si en lugar de revenirse en forma uniforme alrededor del revenimiento verdadero (**figura 2.1.5.4-a**), la mitad del cono se desliza para abajo en un plano inclinado, se dice que ha ocurrido un revenimiento cortante, y deberá repetirse la prueba. Si el revenimiento cortante persiste, como pueda ser el caso con mezclas ásperas, esto indica falta de cohesión de la mezcla.

Las mezclas de consistencia rígida tienen un revenimiento cero; en el rango más bien seco no se descubrirá ninguna variación entre mezclas de trabajabilidad diferente. Las mezclas ricas se comportan satisfactoriamente, siendo su revenimiento sensible a las variaciones de trabajabilidad Sin embargo, en una mezcla pobre con tendencia a la aspereza, un revenimiento exacto puede cambiarse fácilmente al tipo cortante o hasta desplomarse (**figura 2.1.5.4-a**); y en muestras diferentes de la misma mezcla pueden obtenerse valores ampliamente diferentes de revenimiento.

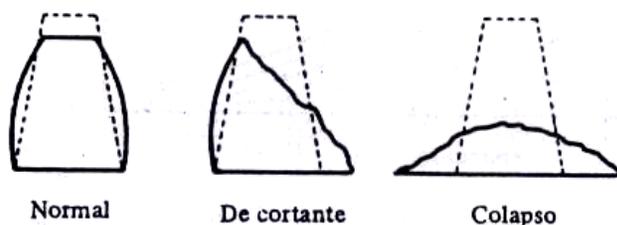


Fig. 2.1.5.4-a. Prueba de Revenimiento

Además, el revenimiento no mide la facilidad de compactación del concreto y, como el revenimiento ocurre sólo con el peso propio del concreto de prueba, no refleja el comportamiento en condiciones dinámicas tales como vibración, acabado, bombeo o movimiento a través de un tubo con tolva. Más bien, el revenimiento refleja la "cedencia" del concreto.

A pesar de estas limitaciones, la prueba de revenimiento es muy útil en la obra como una verificación de la variación de mezcla a mezcla o de hora a hora de los materiales que se están alimentando en la mezcladora.

Un aumento en revenimiento puede querer decir, por ejemplo, que el contenido de humedad del agregado ha aumentado en forma no esperada: otra causa sería un cambio en la granulometría del agregado, tal como una deficiencia de arena.

Un revenimiento demasiado alto o demasiado bajo da advertencia inmediata y capacita al operador de la mezcladora para remediar la situación. Esta aplicación de la prueba de revenimiento, así como su simplicidad, es la responsable de su uso generalizado.

Una prueba de mini revenimiento se desarrolló con el propósito de evaluar la influencia de varios aditivos y súper plastificantes reductores de agua sobre pasta de puro cemento. La prueba puede ser útil para ese propósito específico, pero es importante recordar que otros factores, distintos de las propiedades de la pasta de cemento constituyente también afectan la trabajabilidad del concreto.

2.1.6 RESISTENCIA DEL CONCRETO

Se considera comúnmente que la propiedad más valiosa del concreto es su resistencia, aunque en muchos casos prácticos, otras características tales como la durabilidad o la permeabilidad pueden ser más importantes. No obstante, la resistencia suele dar una imagen general de la calidad del concreto por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento hidratada. Más aún, la resistencia del concreto es, casi invariablemente, un elemento vital del diseño estructural y se especifica con fines de cumplimiento.

2.1.6.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.

El ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. Las razones generales para la elección de uno u otro tipo de ensayo se establecieron. Asimismo, un número de principios generales se desarrolló a través de la sección sobre el ensayo de tensión sobre los cuales son igualmente aplicables al ensayo de compresión. Existen, sin embargo, varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a las cuales se debe dirigir la atención: **La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.** El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga tensiva, Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue. La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de esta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente. Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada. Se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la atención se limita aquí al bloque de compresión corto.

Probetas estándar.

Para el cemento las probetas estándar son cilindros con una altura del doble del diámetro. Para el concreto con agregado de tamaño máximo no mayor de 2 pulgadas, el tamaño normal del cilindro es de 6 por 12 pulgadas; para el concreto que contenga agregados de tamaño máximo hasta de 2 1/2 pulgadas se usa un cilindro de 8 por 16 pulgadas. Es práctica común en muchos

laboratorios usar cilindros de 3 por 6 pulgadas para concreto con agregados hasta de 3" - 4" pulgadas y para ensayos de concreto con agregados hasta de 6 pulgadas, se usan cilindros de 18 por 36 pulgadas.

Detalles sobre Agregados de Concreto.

Los agregados para concreto deben cumplir con las normas estandarizadas, y que estén constituidos por granos duros, limpios y libres de: polvo, arcilla, limo, material orgánico, sales solubles y películas de aceite o grasa. En general, los materiales como polvo, arcilla, limo, materia orgánica, etc. debilitan la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento, generando bajas resistencias. El concreto elaborado con agregados que presenten estos materiales endurece muy lentamente y a menudo no endurece lo suficiente para utilizarlo con el propósito previsto. Otro concepto que se maneja al hablar de agregados, es el de granulometría y tamaño máximo. Granulometría es la distribución del tamaño de los granos de un agregado. El tamaño máximo de la piedra, esto es, el tamaño máximo de las piedras más grandes, no debe exceder de 2 pulgadas en concretos no armados, recomendándose un tamaño máximo de 1.6 pulgadas y no debe exceder de 1.6 pulgadas en concretos armados, recomendándose un tamaño máximo de 1.2 pulgadas. Un buen agregado es aquel que tiene una granulometría en donde todos los granos del agregado no son del mismo tamaño, sino que varían de finos a gruesos, es decir bien graduados. De este modo las partículas más finas ayudan a rellenar los huecos entre las más gruesas. No emplee agregados que contengan cantidades considerables de partículas blandas, planas o alargadas. Almacene los agregados por separado sobre pisos duros (de concreto, adoquines o placas metálicas) e inclinados para facilitar el drenaje. Evite que los agregados se mezclen entre sí. Al efecto resulta conveniente colocar una división de baja altura entre ellos. El almacenamiento debe hacerse por capas de espesor uniforme, no en cerros. Evite por todos los medios que los materiales se contaminen con tierra o desperdicios.

2.1.6.1.1 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Este primer paso trata de la elaboración y curado de especímenes cilíndricos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para construcción, que en conjunto con otros procedimientos conforman el ensayo. En la elaboración de los especímenes se deben tener en cuenta ciertos parámetros que a continuación mencionamos:

- El concreto utilizado para elaborar los especímenes moldeados debe tener los mismos niveles de asentamiento, contenido de aire y porcentaje de agregado grueso que el concreto que representa.
- Los cilindros deben ser elaborados en moldes de acero, hierro fundido o de cualquier material no absorbente y no reactivo con el concreto que contiene cemento Portland u otro cemento hidráulico; debe mantener sus dimensiones y su forma bajo las condiciones de uso. Estos moldes deben ser impermeables. El molde y su base se deben aceitar con una capa delgada de aceite mineral antes del uso.
- Los cilindros de concreto deben ser fundidos y fraguados en posición vertical, con una altura igual a dos veces el diámetro. El espécimen patrón debe ser un cilindro de 150 mm de diámetro interior por 300 mm de altura. No se deben emplear cilindros más pequeños de 150 mm por 300 mm para los ensayos de aceptación a menos que sea requerido por las especificaciones del proyecto.
- Según la norma: “Los técnicos en campo que elaboran y curan especímenes para el ensayo de aceptación deben ser certificados de acuerdo con ACI Field Testing Technicians, Grade I, o equivalente”.
- Se deben medir y registrar datos de asentamiento, contenido de aire y temperatura.
- Los especímenes se deben elaborar pronto sobre una superficie nivelada, rígida, libre de vibración o de cualquier otra perturbación y en un sitio lo más cercano posible a donde van a ser almacenados.

- Los cilindros se pueden compactar por dos métodos, apisonamiento o vibración, para los cuales es necesario tener en cuenta diferentes parámetros, como el asentamiento, el número de capas y su profundidad.
- Después de compactar el espécimen, se enrasa la superficie de éste para quitar el exceso de concreto, utilizando la varilla de compactación, una llana de madera o palustre.
- Los especímenes deben ser marcados para su identificación mediante un método que no altere la superficie del concreto.
- Los especímenes deben ser curados, con el fin de impedir la pérdida de humedad. Esto se garantiza manteniendo las muestras en ambientes húmedos inicialmente, luego, se hace sumergiendo la muestra en agua a temperaturas entre los 21°C y 15°C.
- Antes de transportar los especímenes, estos se deben curar y proteger como se exige en el numeral 9. Durante el transporte, los especímenes se deben proteger con un material amortiguador para evitar daño por golpes, por temperaturas de congelación, o por pérdida de humedad. La pérdida excesiva de humedad se evita envolviendo los especímenes muy bien en plástico o rodeándolos de arena húmeda o aserrín húmedo. El tiempo de transporte no debe ser superior a 4 h.

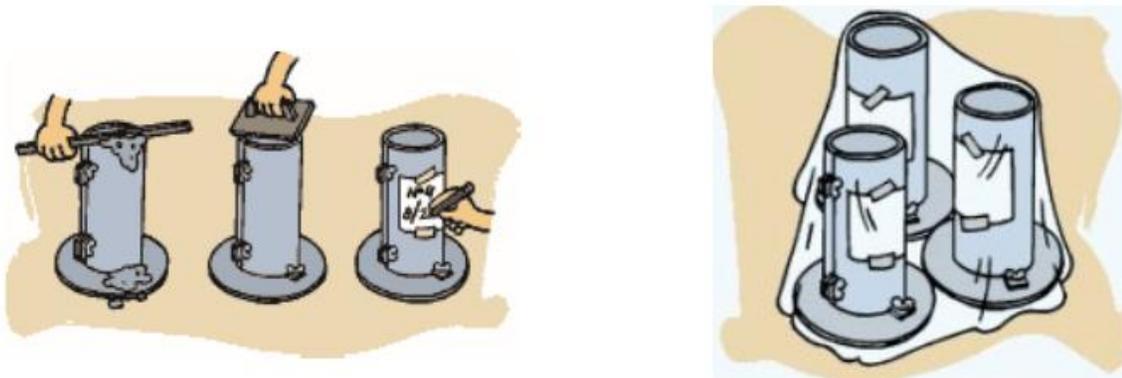


Figura 2.1.6.2.1-a . Preparación de los especímenes cilíndricos.

2.1.6.1.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados a una velocidad que está dentro de un intervalo prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen. La máquina se debe operar eléctricamente y debe aplicar la carga en forma continua, no intermitente, y sin impacto. Si sólo tiene una velocidad de carga (dentro del intervalo de 0.14 MPa/s a 0.34 MPa/s), ésta debe estar provista de medios suplementarios para cargar a una velocidad apropiada para la verificación. El espacio para los especímenes debe ser lo suficientemente grande para acomodar, en una posición legible, un aparato de calibración elástica de suficiente capacidad para cubrir el intervalo potencial de carga de la máquina de ensayo.

Exactitud de la máquina

La exactitud de la máquina de ensayo debe estar en concordancia con las siguientes disposiciones:

- El porcentaje de error para las cargas dentro del intervalo propuesto de uso de la máquina de ensayo no debe exceder $\pm 1,0$ % de la carga indicada.
- La exactitud de la máquina de ensayo se debe verificar aplicando cinco cargas de ensayo en cuatro incrementos aproximadamente iguales en orden ascendente. La diferencia entre dos cargas de ensayo sucesivas cualesquiera, no debe exceder un tercio de la diferencia entre las cargas de ensayo máxima y mínima.
- La carga de ensayo indicada por la máquina de ensayo y la carga aplicada calculada de las lecturas del aparato de verificación, se deben registrar en cada uno de los puntos de ensayo. Se debe calcular el error, E , y el porcentaje de error, E_p , para cada punto de estos datos como sigue:

$$\mathbf{E = A - B}$$

$$\mathbf{E_p = 10 (A - B) B}$$

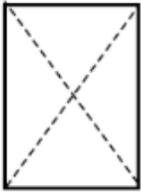
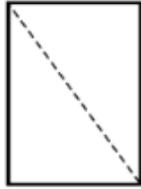
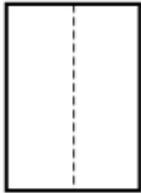
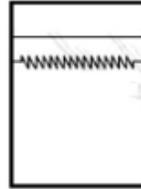
Donde:

A = carga, en N indicada por la máquina que se está verificando

B = carga aplicada, en N determinada con el aparato de calibración.

- La carga indicada de una máquina de ensayo no se debe corregir ni con cálculos ni con el uso de un diagrama de calibración para obtener valores dentro de la variación permisible requerida.
- La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de apoyo en acero con caras endurecidas (dureza Rockwell de no menos de 55 HRC), uno de los cuales es un bloque con rótula que se apoya sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque sólido sobre el cual descansa el espécimen. Las caras de apoyo de los bloques deben tener una dimensión mínima por lo menos 3 % mayor que el diámetro del espécimen a ensayar.

2.1.6.1.3 TIPOS DE FALLA EN EL CONCRETO

	<p>Cónica</p> <p>Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.</p>
	<p>Transversal</p> <p>Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de desviación (perpendicularidad) tolerada especificada de 0,5°</p>
	<p>Columnar</p> <p>Se presenta en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de refrentado; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.</p>
	<p>Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de refrentado; también por concavidad de una de las placas de carga.</p>
	<p>Se presenta cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga y deficiencia del material de refrentado, por rugosidades en el plato en el que se realiza el refrentado o por deformación de la placa de carga.</p>
	<p>Cónica y dividida</p> <p>Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de refrentado o rugosidades del plato de refrentado.</p>

2.2 MORTEROS

Reciben el nombre de mortero argamasas o mezclas de distintas combinaciones de distintas sustancias (agregado fino, agua y aglutinante), que al unirse forman una pasta muy maleable que posteriormente se endurece y solidifica para formar una piedra artificial.

- **Agregado fino:** (arena en sus diferentes calidades y variedades)
- **Agua:** el agua que se emplee en el mortero debe ser limpia y deben de eliminarse las aguas duras y materias orgánicas, arcillas, sales y sobre todo los sulfatos grasas y cloruros.
- **Aglutinantes:** son aquellos elementos que sirven para unir o pegar en las construcciones y llevan a cabo su cometido mediante reacciones químicas en presencia de agua y aire. Los aglutinantes de más usos son: cal-grasa, cal hidra y cemento

2.2.1 TIPOS DE MORTEROS:

a) **Morteros aéreos:**

Son aquellos cuya solidificación completa y perfecto endurecimiento son lentos y lo efectúan por la acción del aire sobre ellos.

b) **Morteros hidráulicos:**

Se le conoce con este nombre a los morteros que tienen la propiedad de endurecerse rápidamente. Forman conglomerados que además tienen las propiedades de fraguar indistintamente en el aire o en el agua.

c) **Morteros de mampostear:**

Es la mezcla que se aplica para lograr la unión solida de diferentes materiales de construcción.

d) **Morteros de aplanados:**

Se entiende por este término a la capa de mezcla que se usa para cubrir paramentos de muros y otros elementos de construcción con el fin de protegerlos y obtener las superficies y texturas deseadas.

e) **Morteros terciados:**

Son aquellos morteros a los que se le agrega barro común o tierra del lugar, en proporción de un volumen de barro o tierra por un volumen de barro o tierra por dos de mortero. Esta mezcla así obtenida conserva algunas propiedades hidráulicas y aunque más pobre endurece debidamente.

2.2.2 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS DE MAMPOSTERÍA

2.2.2.1 PROPIEDADES EN ESTADO PLÁSTICO

La trabajabilidad es la propiedad más importante en el estado plástico de un mortero. Se puede definir como la facilidad que permite el mortero al aplicarse sobre las superficies a recubrir o sobre las unidades de mampostería. Es el resultado de la interacción de las partículas que forman los agregados y depende directamente de la cantidad de lubricante (agua) presente en la mezcla. Se puede cuantificar en términos de plasticidad y fluidez de la mezcla por pruebas de laboratorio. El ajuste final del grado de trabajabilidad, puede ser regulado por el albañil en la obra controlando la cantidad de agua que se agrega a la mezcla. Esta característica es muy importante para lograr con los morteros de mampostería una diversidad de acabados.

La cohesión del mortero, es decir, la capacidad de mantener sus partículas unidas entre sí, está directamente ligada a la trabajabilidad de mortero, si el mortero tiene buena cohesión permite buena trabajabilidad.

La capacidad del mortero de mantenerse húmedo es definida por el grado de retención de agua del mortero. Es esencialmente importante cuando se aplica el mortero sobre superficies o unidades de mampostería altamente absorbentes, que despojan al mortero de la humedad necesaria para ser trabajable. Ante la absorción de la superficie se produce además un efecto deshidratador en el mortero que puede afectar su proceso de fraguado cuando se utiliza un **cemento** hidráulico. La retención de agua y la influencia de las condiciones del clima deben ser tomadas en cuenta cuando se diseñan morteros. Durante el verano, el mortero debe tener 28 mucha retención de agua para evitar el fenómeno de la evaporación. En el invierno, una poca retención de agua es recomendada, ya que esto facilita que el agua se consuma antes de que se congele.

2.2.2.2 Propiedades En Estado Endurecido

En el estado endurecido la propiedad más importante de un mortero de mampostería es su capacidad de adherencia, que se define como la capacidad de pegarse a la superficie de trabajo. Otra propiedad deseable de los morteros de mampostería es la durabilidad, que es la capacidad del mortero de resistir el envejecimiento, los cambios de clima y los efectos nocivos de la intemperie durante su vida útil.

La resistencia a tensión y a compresión son también propiedades deseables del mortero. Una buena resistencia a tensión del mortero evita la aparición de grietas. Una razonable velocidad de fraguado acompañado de una aceptable resistencia a compresión son factores que permiten que una construcción logre avanzar sin retrasos.

2.2.3 PROPORCIONAMIENTO DE MORTEROS

2.2.3.1 Ejemplo de proporcionamiento de materiales para mortero.

Datos: Tipo de mortero: **M**

Partes por volumen:

Cemento : 1.00

Cal : 0.25

Arena : 3.00

Partes X Vol. total : **4.25**

El volumen de un cubo es: $5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ cm}^3$

Si se hacen 6 cubos el volumen total será: $125 \times 6 = 750 \text{ cm}^3$

Si se aumenta este volumen en un 40% (por desperdicio): $750 \times 1.4 = 1050 \text{ cm}^3$, de mortero que se necesitará.

Peso Volumétrico de la arena: Este se determinará según procedimiento n° II.

Para este ejemplo el P.V. para la arena lo tomaremos como 1.265 gr/ cm^3

P.V. para la cal lo tomaremos como 0.791 gr/ cm^3

P.V. para el cemento lo tomaremos como 1.078 gr/ cm^3

CUADRO RESUMEN

Tipo de Mortero	Partes por volumen			Volumen de Materiales			P.V. (gr/ cm ³)	Pesos de Materiales (g)		
	Cto	Cal	Arena	Cto.	Cal	Arena		Cto.	cal	Arena
M	1	0.25	3	247.06	61.76	741.18	Cto. = 1.078 Cal = 0.791 Arena=1.265	266.33	48.85	937.59
Total : 4.25										

Calculo de los volúmenes de materiales:

Calculo de pesos de materiales:

$$\text{Cemento: } \frac{.1}{4.25} (1050) = 247.06 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cemento: } 247.06 \times 1.078 = 266.33 \text{ gr}$$

$$\text{Cal: } \frac{.025}{4.25} (1050) = 61.76 \text{ cm}^3$$

$$\text{Cal: } 61.76 \times 0.791 = 48.85 \text{ gr.}$$

$$\text{Arena: } \frac{.300}{4.25} (1050) = 741.18 \text{ cm}^3$$

$$\text{Arena: } 741.18 \times 1.265 = 937.59 \text{ gr.}$$

2.2.3.2 Determinación del Peso Volumétrico Suelto

- a) La muestra de prueba del agregado debe mezclarse completamente y reducirse a una cantidad conveniente por medio de un equipo divisor de muestras o por cuarteo.
- b) La muestra reducida deberá ser secada a la intemperie durante un período de 24 horas o más, hasta que esté completamente seca.
- c) Se encuentra un recipiente que esté de acuerdo al tamaño máximo del agregado.
- d) Pesar el recipiente y anotar como W_r .
- e) Encontrar el volumen del recipiente y anotar como V_r .
- f) Se toma una muestra del material seco de tal forma que sea mayor que el volumen del recipiente (aproximadamente).
- g) Se vierte el material dejándolo caer de más ó menos 5 cm. por encima del borde superior del recipiente y luego se enrasa.
- h) Se pesa el recipiente con el material y se anota este peso como W_{rm} .
- i) Se repiten este procedimiento por lo menos, 5 veces

Calculo:

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

2.2.3.3 Preparación de los moldes.

1. Cubrir las caras interiores de los moldes con aceite mineral o grasa lubricante ligera, de la misma manera la superficie de contacto de las mitades de cada molde.
2. Quitar el exceso de lubricante después del ensamblaje, tanto de las caras interiores como de las superficies e inferiores de cada molde.
3. Unir los moldes a la placa de base, que deberá ser plana no absorbente y que haya sido ligeramente cubierta con los lubricantes señalados.
4. Sellar las líneas exteriores de contacto entre los moldes y placa de base con tres capas de parafina.

2.2.3.4 Proporcionamiento, consistencia y mezclado del mortero.

El proporcionamiento se hará dependiendo del tipo de mortero a elaborar; ya que se hace de acuerdo a los materiales y a la proporción utilizada en la obra, (en nuestro caso se utilizara el proporcionamiento de la tabla del inciso b-3. Cuando se haya hecho el proporcionamiento de la mezcla, se pesaran las cantidades de cemento, arena y cal correspondientes, y se procederá a encontrar la fluidez como primer paso.

2.2.4 PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO FRESCO

2.2.4.1 FLUIDEZ DEL MORTERO:

- 1.** La arena que se utilizará para el ensayo deberá estar cuarteada, seca y tamizada por la malla N 4.
- 2.** Pesar por separado: arena, cal y cemento.
- 3.** Agregar al tazón toda el agua de mezclado necesaria para producir una fluidez entre 100 y 115.
- 4.** Agregar el cemento, poner en marcha la batidora y mezclar a baja velocidad (140 ± 5 rpm.) durante 30 seg.
- 5.** Agregar la cal, y mezclar a baja velocidad (140 ± 5 r p m.) durante 30 seg.
- 6.** Agregar lentamente la cantidad total de arena en un lapso de 30 seg. mientras se efectúa el mezclado a baja velocidad.
- 7.** Detener la batidora, cambiar a velocidad media (285 ± 10 rpm), y mezclar durante 30 seg.
- 8.** Volver a detener la batidora y dejar reposar el mortero por 1.5 min. Durante los primeros 15 seg. de este intervalo, desprender con la espátula, rápidamente hacia abajo todo el mortero adherido a la pared del tazón. En el resto de este tiempo cúbrase el tazón con la tapa.
- 9.** Terminar el mezclado haciendo funcionar la batidora a una velocidad media (285 ± 10 rpm), durante 1 minuto.
- 10.** Después de completar el mezclado, regresar el exceso de mortero de la paleta al tazón.

2.2.4.2 DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ.

1. Limpiar y secar cuidadosamente la cara superior de la mesa de fluidez.
2. Colocar en el centro de la mesa el molde de fluidez
3. Colocar la primera capa de mortero, de aproximadamente 2.5 cm. de espesor, apisonándola 20 veces. La presión aplicada debe ser solamente la suficiente para asegurar que el molde se llene uniformemente.
4. Llenar el molde con mortero y apisonar como se especificó para la primera capa.
5. Enrasar el mortero pasando el borde de la llana (sosteniéndola casi perpendicular al molde) por la parte superior del molde en un movimiento de zigzag.
6. Secar y limpiar la cara superior de la mesa, teniendo cuidado de quitar el agua de la orilla del molde.
7. Levantar y retirar el molde, 1 min. después de terminar la operación de mezclado.
8. Dejar caer la mesa desde una altura de 1.27 cm., 25 veces en 15 seg.
9. La fluidez es el incremento que resulta en el diámetro promedio de la base de la masa de mortero, medido por lo menos en cuatro diámetros en intervalos poco más o menos equidistantes, expresado como porcentaje del diámetro original de la base. Deben elaborarse morteros de tanteo, variando el porcentaje de agua hasta obtener la fluidez especificada. Cada intento tiene que hacerse con mortero nuevo.

2.2.4.3 PROCEDIMIENTO:

Para el diseño de la mezcla de mortero, necesitamos conocer en primer lugar la granulometría de la arena a utilizar, para ver si cumple con los requisitos que establece ASTM C-270, donde se establece la graduación que deberá tener la arena para mortero, la cual se detalla a continuación:



a) Graduación

1. No debe retener en dos mallas consecutivas más del 50% del material.
2. El módulo de finura debe oscilar entre 1.6 y 2.5. Si M_F varía en más de 0.2 deberá ajustarse la dosificación.
3. Si el agregado no cumple con los requisitos de graduación, pero cumple con los de retención de agua y resistencia a la compresión, al usarse el mortero, puede aceptarse.

Malla No	Porcentaje que pasa
No 4	100
No 8	95 – 100
No 16	70 –100
No 30	40 – 75
No 50	10 – 35
No 100	2 – 15
No 200	-

b) Sustancias Deletéreas.

1. Partículas blandas menos del 1% en peso.
2. Partículas ligeras, menor al 0.5% en peso. Son aquellas que flotan en un líquido con $S=2$

c) Impurezas Orgánicas. (Prueba de colorimetría)

Puede usarse el agregado que no cumple con la colorimetría sí:

1. La coloración se debe a carbón, lignito o sustancias similares.
2. Probado el mortero de acuerdo con la Norma ASTM C-87, se alcanza al menos, a los 7 días, el 95% de la resistencia de la muestra patrón.

d) Sanidad

El agregado sujeto a cinco ciclos de la prueba de sanidad, debe tener una pérdida menor a:

- ◆ 10% si se usa sulfato de sodio.
- ◆ 15% si se usa sulfato de magnesio.

2.2.4.4 PROPORCIONAMIENTO:

1. Tipo de mortero.
2. Dependiendo del tipo de mortero, escoger el proporcionamiento según tabla 1.
3. Peso volumétrico de la arena.
4. Tomar las dimensiones de los moldes.
5. Determinar el volumen de un cubo.
6. Determinar el volumen de mortero a ocupar, a partir del número de especímenes a realizar
7. Aumentar en un 10% el volumen total de mortero a utilizar para hacer los cubos. (se agrega por desperdicio).

2.3 AGREGADOS

2.3.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Porque al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregado, no es de extrañar que la calidad de éste sea de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Originalmente, los agregados se consideraban un material inerte, que se repartía en toda la pasta de cemento, más que nada por razones económicas. Sin embargo, es posible asumir un punto de vista opuesto y pensar que los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, como sucede en las construcciones de mampostería. De hecho, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y a veces químicas, influyen en el comportamiento del concreto.

Los agregados son más baratos que el cemento y, por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquéllos y la menor de éste. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados: éstos proporcionan además al concreto una enorme ventaja técnica, al darle mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

2.3.2 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS

Los tamaños de agregados utilizados en el concreto están en el rango de unos cuantos milímetros hasta partículas pequeñísimas de décimas de milímetro en sección transversal. El tamaño máximo que se usa en la realidad varía pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diverso tamaño. La distribución de las partículas según su tamaño se llama granulometría.

Cuando se quiere hacer un concreto de baja granulometría, se utilizan agregados que provienen de depósitos que contienen gran variedad de tamaños, desde el más pequeño hasta el más grande; esto se llama agregado sin cribar o agregado en bruto. La opción más común en la fabricación de concreto de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño; la división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena no mayor de 5 mm (3/16 pulg.) y agregado grueso, que comprende el material mayor de 5 mm. En Estados Unidos, la división se hace por medio del tamiz núm. 4, de, 4.75 mm (3/6 de pulg.). Cabe señalar que el uso del término agregado (que significa agregado grueso) en contraposición con arena, no es correcto.

Generalmente, se dice que la arena natural tiene como límite inferior de tamaño 60 o 70 μm o menos. El material entre 60 y 2 μm se clasifica como limo, y si son partículas más pequeñas, se los conoce como arcilla. La marga es un depósito blando que está formado por arena, limo y arcilla en proporciones aproximadamente iguales. Aunque el contenido de partículas menores de 75 μm se informa usualmente de manera global, la influencia del limo y arcilla en las propiedades del concreto resultante es muchas veces significativamente diferente, no sólo porque estas partículas difieren en tamaño, sino también en composición.

Se ha observado que ciertos agregados aparentemente inadecuados no causan ningún problema cuando se utilizan para hacer concreto. Por ejemplo, una muestra de roca se puede desintegrar cuando se congela, pero no le sucede necesariamente lo mismo cuando está ahogada en concreto, especialmente si las partículas de agregado están totalmente cubiertas de una pasta de baja permeabilidad. Sin embargo, los agregados que se consideran pobres en más de una característica, no suelen hacer un concreto satisfactorio, por lo que las pruebas realizadas en los agregados solos son de gran ayuda para determinar su conveniencia para utilizarlos en el concreto.

2.3.3 MUESTREO

Se han normalizado pruebas de las diversas propiedades del agregado en muestras del material y, por lo tanto, los resultados de las mismas se aplican estrictamente sólo al agregado contenido en la muestra. Tal como se suministran en la obra, o están disponibles, es preciso asegurarse de que la muestra analizada sea representativa de las propiedades promedio del agregado. A esa muestra se le llama representativa y, para, obtenerla, es necesario tomar ciertas precauciones.

Sin embargo, no se puede proporcionar ningún procedimiento detallado de muestreo, ya que las condiciones y situaciones que se presenten en la recolección de las muestras en el campo pueden variar mucho de un caso a otro. No obstante, un experimentador inteligente puede obtener resultados confiables si recuerda siempre que la muestra que debe tomar ha de ser representativa del total del material a considerar. Un ejemplo de un procedimiento cuidadoso puede ser el empleo de un cucharón en lugar de una pala, para evitar que rueden todas las partículas de ciertos tamaños al retirarla.

La muestra principal se forma de diferentes porciones tomadas de diversos puntos del total. Sin embargo, si la fuente de la que se obtienen las muestras es variable o está segregada, se deben tomar más incrementos y la muestra que se va a enviar para la prueba debe ser mayor. Esto se aplica especialmente a las pilas de material almacenadas, en las que los incrementos se tienen que tomar de todas partes de la pila, no sólo de la superficie, sino también del interior.

Hay dos maneras de reducir el tamaño de una muestra, ambas la dividen en partes iguales: en cuartos o en mitades. La división en cuartos se hace mezclando muy bien la muestra principal y, cuando contiene agregado fino, humedeciéndole para evitar la segregación. El material se apila para formar un cono, y se voltea después para formar un nuevo cono. Este proceso se repite dos veces, depositando el material siempre en la punta del cono para

que las partículas que vayan cayendo se distribuyan en forma uniforme alrededor de la circunferencia. El cono final se aplana y se divide en cuartos. Se desecha un par de cuartos diagonalmente opuestos y los que quedan se usan para la muestra o, si todavía es demasiado abundante, se vuelve a repetir la operación de cuarteo. Se debe tener cuidado de incluir todo el material fino en el cuarto que corresponda.

Otra alternativa es dividir la muestra en mitades por medio de un separador de agregados (**figura 2.3.4-a**). Este es una caja que cuenta con una serie de divisiones paralelas verticales, que descargan alternativamente a la derecha y a la izquierda. La muestra se descarga a todo lo ancho del separador y cae en dos cajas colocadas al fondo de los canalones a ambos lados del aparato. Una de las partes se desecha y se repite la separación con la otra mitad hasta llegar a obtener el tamaño deseado. La norma ASTM describe un separador típico. La separación da resultados menos variables que dividir en cuatro partes.

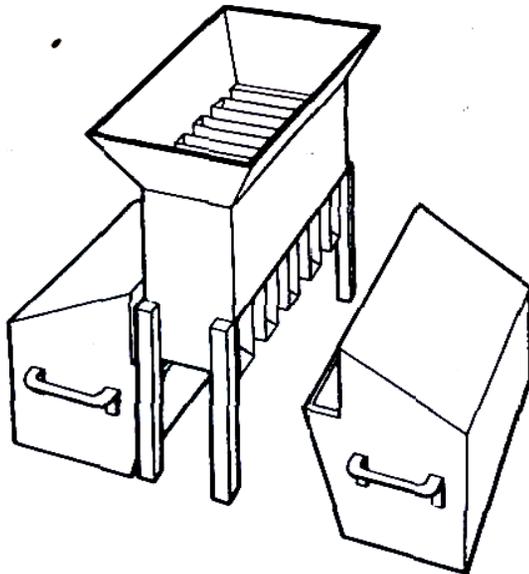


figura 2.3.4-a. Separador o Cuarteador Típico.

2.3.4 FORMA Y TEXTURA DE PARTÍCULAS

Además del aspecto petrográfico de los agregados, son también importantes sus características externas, especialmente la forma y la textura superficial de las partículas. Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales y, por lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas de dichos cuerpos.

La redondez es la medida del filo o angularidad relativos de los bordes o esquinas de una partícula. La redondez está controlada principalmente por la resistencia a la compresión y a la abrasión de la roca original, y por la cantidad de desgaste a la que hayan estado sujetas las partículas.

En el caso de agregados triturados, la forma de la partícula depende de no sólo de la naturaleza de la roca original, sino también del tipo de trituradora y su relación de reducción, es decir, de la relación que existe entre el tamaño del material que se introduce a la trituradora y el tamaño del producto terminado. Una clasificación amplia adecuada para determinar la redondez es la que se proporciona en la tabla 2.3.5.

Tabla 2.3.5 Clasificación de forma de partículas		
Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeada	Completamente desgastadas por el agua o totalmente formadas por fricción	Grava de río o de playa; arena del desierto, de playa o acarreada por el viento
Irregular	Irregulares por naturaleza, parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones	Roca laminada
Angular	Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas	Rocas trituradas de todos tipos, taludes detríticos y escoria triturada
Alargada	Material que suele ser angular, pero cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones	-
Escamosa y alargada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor	-

Una clasificación que se usa a veces en los Estados Unidos de Norteamérica es la siguiente:

- Bien redondeada - sin superficie original
- Redondeada - han desaparecido casi todas sus caras
- Sub-redondeada - desgaste considerable, caras de área reducida
- Sub-angular - se observa cierto desgaste, pero las caras están intactas
- Angular - poca evidencia de desgaste

Es el factor de angularidad que se define como la relación entre el volumen sólido de los agregados sueltos y el volumen sólido de esferas de cristal de una granulometría especificada, de tal manera que se elimina el concepto de empaque y así, se evitan los errores inherentes. Algunos expertos han repasado críticamente varios otros métodos indirectos de determinación de la forma del agregado fino, pero ningún método generalmente aceptado está disponible.

No hay duda de que la forma de las partículas de agregado fino tiene influencia en las propiedades de la mezcla, las partículas angulares requiriendo más agua para una trabajabilidad dada; pero todavía no hay disponible un método objetivo de medir y expresar la forma, a pesar de los intentos que utilizan la medición del área superficial proyectada y otras aproximaciones geométricas.

En lo que corresponde al agregado grueso, se prefiere la forma equidimensional de partículas, pues las que se apartan significativamente de tal forma tiene un área superficial mayor y se empaquetan de una manera anisotrópica.

La forma y textura del agregado fino ejercen un efecto significativo sobre el requisito de agua para mezclas hechas con determinados agregados. Si estas propiedades del agregado fino se expresan indirectamente por la constitución interna del mismo, es decir, por el porcentaje de vacíos en estado suelto, por lo que la influencia en el requisito de agua es muy importante. La influencia, de los vacíos en el agregado grueso es menos definitiva.

2.3.5 ADHERENCIA DEL AGREGADO

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante para la resistencia del concreto, especialmente la resistencia a la flexión, pero no se ha comprendido la naturaleza de la adherencia. La adherencia se debe en parte a que el agregado y la pasta se entrelazan debido a la aspereza de la superficie del primero. Una superficie áspera, como la de las partículas trituradas, da como resultado una mejor adherencia, por causa de entrelazado mecánico que también se consigue cuando se usan materiales compuestos por partículas suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas. Por lo general, las características de textura que no permiten la penetración de las partículas por la superficie no producen una buena adherencia. Además, hay otras propiedades químicas y físicas de los agregados que afectan la adherencia, que están relacionadas con su composición mineralógica y química y con las condiciones electrostáticas de la superficie de la partícula.

La determinación de la calidad de adherencia de los agregados es bastante difícil y no existen pruebas aceptadas. Generalmente, cuando hay buena adherencia, el espécimen de concreto triturado de concreto de resistencia normal deberá contener algunas partículas de agregados fracturadas de lado a lado, además de aquellas mucho más numerosas arrancadas de su sitio.

2.3.6 RESISTENCIA DEL AGREGADO

Está claro que la resistencia a la compresión del concreto no puede exceder de la mayor parte de los agregados que contiene, aunque no es fácil establecer cuál es la resistencia de las partículas individuales. De hecho, es difícil probar la resistencia a la trituración de partículas individuales del agregado y, generalmente, la información necesaria se tiene que obtener por medio de pruebas indirectas: valor de trituración de agregado a granel. Fuerza requerida para compactar agregado a granel, y comportamiento de agregado en el concreto.

Esto último significa que los agregados se habrán probado en experimentos previos, o que se han analizado en una mezcla de concreto con agregados probados de antemano cuya resistencia sea conocida. Si el agregado que se está sometiendo a prueba conduce a una resistencia del concreto a la compresión más baja, en especial si hay muchas partículas fracturadas después de que se ha fracturado la muestra de concreto, entonces la resistencia del agregado es menor que la resistencia nominal a la compresión de la mezcla de concreto en la que se ha incorporado dicho agregado. Queda claro que ese tipo de agregado sólo puede utilizarse en un concreto de menor resistencia. Es por ejemplo, el caso de la laterita, un material ampliamente empleado en África, el Sur de Asia y Sudamérica, donde pocas veces se puede producir un concreto con una resistencia mayor a los 10 MPa.

2.3.7 OTRAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Se tiene varias propiedades mecánicas de los agregados que son de interés, en especial cuando hay que utilizar dichos agregados para la construcción de pavimentos o van a estar a sujetos a un gran desgaste. La primera de ellas es **tenacidad**, que se puede definir como la resistencia de una muestra de roca a la falla por impacto. Aunque esta prueba revelaría los efectos adversos de la acción de la intemperie en la roca, no se utiliza.

Existe una prueba que se practica en América del Norte llamada **prueba de Los Ángeles**, que combina desgaste por frotación con abrasión. También se usa con cierta frecuencia en otros países, porque sus resultados muestran buena correlación, no sólo con el desgaste real del agregado cuando se usa en el concreto, sino también con las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto hecho con dichos agregados. En esta prueba, se colocan agregados de una granulometría específico dentro de un tambor cilíndrico montado horizontalmente y con un entrepaño en su interior. Se le añade una carga de bolas de acero y se hace girar el tambor determinadas revoluciones. Al caerse y golpearse el agregado con las bolas de acero se produce abrasión y desgaste

por frotación, y este efecto se mide de la misma manera que en la prueba de desgaste.

La prueba de Los Ángeles se puede aplicar a agregados de diferentes tamaños y obtener el mismo desgaste, utilizando la masa apropiada de la muestra de agregados, de la carga de bolas de acero, así como el número adecuado de revoluciones por minuto. La norma ASTM C131-89 indica las diferentes cantidades.

2.3.8 POROSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Cuando se habló de la densidad de los agregados, se mencionó la presencia en ellos de poros internos y, de hecho, las características de dichos poros son muy importantes en el estudio de sus propiedades. La porosidad de los agregados, su permeabilidad y absorción influyen en las propiedades de los agregados tales como la adherencia entre éste y la pasta de cemento hidratada, en la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como su estabilidad química y en la resistencia a la abrasión. Como se mencionó, anteriormente la densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y, como consecuencia de esto, se ve afectado el rendimiento del concreto para determinada masa del agregado.

Los poros del agregado presentan un rango amplio de tamaños; los más grandes son visibles con un microscopio e incluso a simple vista, pero hasta los poros más pequeños suelen ser mayores que los poros del gel de la pasta de cemento. Los poros menores de 4 mm son de especial interés, ya que por lo general se cree que afectan la durabilidad de los agregados sujetos a frecuentes ciclos congelación-deshielo.

Cuando todos los poros del agregado están llenos, se dice que éste está *saturado y superficialmente seco*. Si se deja que un agregado en esas condiciones quede expuesto al aire seco, por ejemplo en el laboratorio, parte del agua contenida en los poros se evaporará y el agregado ya no estará saturado, sino secado al aire. El secado prolongado en un horno reduce aún más el contenido de agua en el agregado y, cuando ya no queda nada de

humedad, se dice que el agregado está seco con masa constante. La **figura 2.3.9-a** muestra esquemáticamente las diversas etapas. En la extrema derecha de la figura el agregado contiene humedad superficial y su color es más oscuro.

La absorción de agua de los agregados se determina midiendo el aumento en masa de una muestra secada en horno, y sumergida después en agua durante 24 horas (habiendo quitado el agua de la superficie). La relación que existe entre el aumento en masa con respecto a la masa de la muestra seca, expresada en porcentaje, se llama absorción.

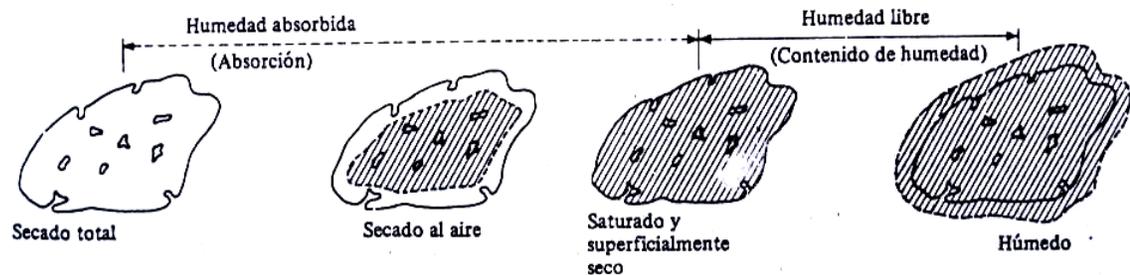


Fig. 2.3.9-a. Representa el diagrama de humedad de los agregados.

Aunque no existe una relación clara entre la resistencia del concreto y la absorción de agua del agregado utilizado, los poros de la superficie de la partícula afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento y, por lo tanto, pueden ejercer cierta influencia en la resistencia del concreto.

Por lo general, se supone que, en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación del agregado se hizo estando seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no está incluida en el agua disponible o efectiva de mezclado. Tal situación se puede hallar en un clima cálido y seco. Sin embargo, es posible que cuando se utilice agregado seco las partículas se recubran rápidamente con pasta de cemento, lo que impide el paso del agua necesaria para lograr la saturación.

2.3.9 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO

En relación con la densidad se mencionó que en el concreto fresco el volumen ocupado por el agregado es el de las partículas, incluyendo los poros. Si se desea que no haya movimiento de agua, que penetre en los agregados, sus poros deben estar llenos de agua; es decir, que el agregado se debe encontrar en un estado saturado. Por otra parte, cualquier cantidad de agua que se encuentre en la superficie de los agregados contribuirá a aumentar el agua de la mezcla y ocupará un volumen excedente al de las partículas del agregado. Por lo tanto, el estado básico del agregado debe ser el de saturado y superficialmente seco.

Puesto que la absorción representa el contenido de agua del agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco y el contenido de humedad es el agua sobrante en dicho estado, el contenido total de agua de un agregado húmedo es igual a la suma de la absorción y el contenido de humedad.

Se puede ver que existe gran variedad de pruebas, pero por más exacta que sea una prueba, su resultado es útil sólo si se ha usado una muestra representativa. Además, si varía el contenido de humedad del agregado en lugares adyacentes a la pila de material, el ajuste de las proporciones de la mezcla se vuelve laborioso. Puesto que la variación en el contenido de humedad ocurre en dirección vertical a partir del fondo empapado de la pila hacia la superficie casi seca, es necesario tener cuidado en el orden en que se colocan las capas de material: almacenar en capas horizontales, tener por lo menos dos pilas y permitir el drenado de cada una antes de usarla y no utilizar los 300 mm del fondo, todo ello ayuda a reducir al mínimo las variaciones en el contenido de humedad. El agregado grueso retiene mucho menos agua que el agregado fino, tiene un contenido de humedad mucho menos variable y, generalmente causa menos dificultades.

2.3.10 MÓDULO DE FINURA

A veces se utiliza un solo factor calculado a partir del análisis granulométrico, especialmente en los Estados Unidos. Este es el módulo de

finura, que se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie normada: 150, 300, 600, μm , 1. 18, 2.36, 5.00 mm (ASTM Nos. 100, 50, 30, 16, 8, 4) y hasta el tamaño máximo del tamiz usado. Se debe recordar que cuando todas las partículas de una muestra son más gruesas que, por ejemplo, 600 μm (núm. 30 ASTM), el porcentaje acumulado retenido en un tamiz de 300 μm (Núm. 50 ASTM) deberá entrar como 100; por supuesto, el mismo valor entraría para 150 μm (Núm. 100). El valor del módulo de finura es tanto más alto cuanto más grueso es el agregado.

Se puede considerar al módulo de finura como promedio ponderado de tamaño del tamiz en el cual es retenido el material, siendo los tamices contados a partir del más fino.

Por lo tanto, el módulo de finura no se puede usar como una descripción de la granulometría de un agregado, pero es útil para medir variaciones ligeras en agregados de la misma fuente; por ejemplo, como un control diario. Sin embargo, con ciertas limitaciones, el módulo de finura da un indicio del posible comportamiento de una mezcla de concreto hecha con agregado de cierta granulometría, y hay muchas personas que apoyan el uso del módulo de finura para la evaluación de agregados y el diseño de mezclas.

2.3.11 REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS

Un problema relacionado es el de combinar agregados finos y gruesos para producir la granulometría que se requiere. Entonces ¿cuáles son las propiedades de una "buena" curva granulométrica?

Puesto que la resistencia de concreto totalmente compactado hecho con determinada relación agua/cemento es independiente de la granulometría del agregado, ésta es, en primer caso, importante sólo en tanto afecte la trabajabilidad. Sin embargo, como el desarrollo de la resistencia correspondiente a una relación agua/cemento dada requiere de una compactación total, y ésta se puede lograr solamente con una mezcla suficientemente trabajable, es necesario producir una mezcla que se pueda compactar a una máxima densidad, con una cantidad razonable de trabajo.

Desde un principio debemos decir que no existe ninguna curva granulométrica ideal, sino al compromiso por obtenerlo. Además de los requisitos físicos, no deben olvidarse del aspecto económico: el concreto se debe fabricar con materiales que se puedan producir a bajo costo, de manera que no se puedan imponer límites no alcanzables a los agregados.

Se ha indicado que los factores principales que rigen la granulometría deseada de los agregados son: el área superficial del agregado, que determina la cantidad de agua necesaria para mojar todos los cuerpos sólidos; el volumen relativo, ocupado por el agregado; la trabajabilidad de la mezcla, y su tendencia a la segregación.

2.3.12 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

El agregado fino triturado tiende a tener diferente granulometría de la mayor parte de arenas naturales. Específicamente, hay menos material entre tamaños de tamices de 600 y 300 μm (Nos. 30 y 50), acoplados con material más grande que el tamaño de tamiz de 1.18 mm (Núm. 16) y también material mucho más fino, más pequeño que el tamaño del tamiz de 150 o 75 μm (núm. 100 ó Núm. 200). La mayor parte de las especificaciones aceptan la última característica y permiten un contenido más alto de partículas muy finas en el agregado fino triturado. Es importante asegurar que este material muy fino no incluya arcilla ó limo.

Se ha demostrado que al aumentar de 10 a 25 por ciento el contenido de partículas menores de 150 μm (núm. 100) en el agregado fino de roca triturada de 10 a 25 por ciento resulta sólo en una pequeña disminución en la resistencia a la compresión del concreto, típicamente en 10 por ciento.

Al considerar los efectos de una cantidad grande de material muy fino en el agregado, es esencial observar que, cuando el material es bien redondeado y liso, la trabajabilidad se mejora, y esto es ventajoso en función de demanda de agua. Las arenas finas de dunas tienen tales características.

En términos generales, la relación agregado grueso respecto a fino deberá ser tanto más alta cuanto más fina sea la granulometría del agregado fino. Cuando se ha agregado grueso de roca triturada, se requiere una proporción ligeramente más alta de agregado fino que con agregado de grava para igualar el abatimiento de trabajabilidad por la forma aguda y angular de las partículas trituradas.

2.3.13 TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

Se ha mencionado que cuanto más grande es la partícula de agregado tanto menor es el área superficial para ser humedecida por masa unitaria. Así al extender la granulometría del agregado a un tamaño máximo mayor se disminuye la cantidad de agua de la mezcla, de manera que, para una trabajabilidad y un contenido de cemento especificado, la relación agua/cemento se puede disminuir con un aumento consiguiente de resistencia.

Así, el tamaño máximo de agregado desde el punto de vista de resistencia es una función de la riqueza de la mezcla. Específicamente, en concreto pobre (165 kg de cemento por metro cúbico) el uso de agregado de 750 mm (6 pulg.) es ventajoso. Sin embargo, en concreto estructural de proporciones usuales, desde el punto de vista de resistencia, no hay ventaja en usar agregado con un tamaño máximo mayor que 25 o 40 mm (1 ó 1 1/2 pulg.) Además, el uso de agregado más grande requeriría el manejo de distintas pilas separadas y podría aumentar el riesgo de segregación, especialmente cuando el tamaño máximo es de 150 mm (6 pulg.). No obstante, una decisión práctica estaría influenciada por la disponibilidad y el costo de diferentes fracciones de tamaño.

Hay por supuesto, también limitaciones estructurales el tamaño máximo de agregado no deberá ser más de 1/2 a 1/4 del espesor de la sección de concreto y se relaciona también con el espaciamiento del refuerzo. Los factores que rigen están prescritos en los reglamentos de la práctica.

2.3.14 AGREGADOS ESPECIALES

Hay en existencia también otros agregados de peso normal, casi así, que son de origen artificial. Las razones para su advenimiento en la escena del concreto son como las siguientes:

Las consideraciones ambientales están afectando en forma creciente al abastecimiento de agregado. Hay fuertes objeciones a la abertura de pozos así como de canteras. Al mismo tiempo, existen problemas con la eliminación de desperdicios por demolición de construcciones y con la descarga de desperdicio doméstico. Estos dos tipos de desperdicio se pueden sujetar a proceso y convertirlos en agregado para uso en el concreto, y esto se está haciendo en forma creciente en muchos países, por ejemplo, en los países bajos.

El tratamiento necesario del despedido no es simple, y el uso del agregado hecho a partir del desperdicio requiere conocimiento de especialistas, ya que ninguno de los materiales ha llegado a estar sujeto a normalización. En particular el escombros de edificaciones contiene cantidades perjudiciales de ladrillo, vidrio, yeso o cloruros. El procesamiento de desperdicio de demoliciones para convertirlo en agregado satisfactorio y libre de contaminantes está todavía desarrollándose. Sin embargo, no hay duda de que el uso de agregado reciclado se volverá importante en el futuro. Las normas europeas sobre agregado reciclado se espera que se publiquen antes del final del siglo veinte. Entre tanto, este tema especializado se está desarrollando con conferencias internacionales.

En lo que corresponde al desecho doméstico, la ceniza de incineradores, después de la remoción de metales ferrosos y no ferrosos, se puede moler hasta hacerla un polvo fino, combinada con arcilla, convertida en pastillas y quemada en un horno para producir agregado artificial. El material es capaz de producir concreto con resistencias a la compresión tan altas como 50 MPa. Claramente, habrá problemas con las variaciones en la composición de la ceniza original, y con las características de durabilidad de largo plazo del material procesado que todavía tienen que determinarse, aunque los resultados hasta la fecha se vean prometedores.

2.3.15 PRUEBAS REALIZADAS EN LOS AGREGADOS

2.3.15.1 ABSORCIÓN DE LA ARENA Y GRAVA

- a)** Cuartear el material para obtener una muestra representativa que se colocará sumergida, en un recipiente con agua.
- b)** Tomar una muestra (500 gr) que se ha dejado previamente sumergida en el agua durante horas, decantando el exceso de agua con cuidado para evitar pérdida del material más fino.
- c)** Secar la arena superficialmente.
- d)** Utilizando el molde tronco cónico, compactar suavemente con el pisón en tres capas de espesor similar, aplicándole 25 golpes (10, 9, 6) respectivamente.
- e)** Enrasar la arena con el borde del molde.
- f)** Levantar el molde y observar el comportamiento de la arena moldeada: si al quitar el molde la arena no presenta ninguna deformación en su base superior, se repetirán los pasos del 4 al 6 hasta que al quitar el molde, la arena se desmorone formando un cono, lo que nos indicaría la condición de saturado con superficie seca o de un contenido de humedad menor que esta condición.
- g)** Inmediatamente se procede a pesar de 200 a 500 gr de la arena en esta condición y se anota este peso como W_{sss} .
- h)** colocar la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas después de lo cual se procede a sacar del horno la muestra y pesarla, anotando este peso como W_s .

2.3.15.2 ABSORCIÓN DE LA GRAVA

- a) Cuartear el material para obtener una muestra representativa y colocarla sumergida en un recipiente por 24 horas.
- b) Tomar la muestra que se ha dejado sumergida y secarla con una franela.
- c) Pesar de 3 a 5 kg (según tabla 1), llamando a este W_{sss} .
- d) Colocar la muestra en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas después de lo cual se procede a sacar del horno la muestra y pesarla, anotando este peso como W_s .

CÁLCULOS:

Calcular el porcentaje de absorción de la arena y grava por medio de la ecuación.

$$\% = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

2.3.15.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA Y GRAVA:

2.3.15.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE GRAVA POR EL MÉTODO DE LA CANASTILLA:

- a) Pesar de 3 a 5 kg de material húmedo, el cual ha sido previamente saturado en aguas 24 horas antes, desechar el material que pase la malla No. 4.
- b) Secar superficialmente la grava con papel toalla para eliminar el agua superficial y pesarla nuevamente para obtener el peso saturado superficialmente seco W_{sss} .
- c) Colocar el material en la canastilla y sumergirlo en un recipiente con capacidad mínima de 16 lts.

- d)** Obtener el peso sumergido del material utilizando una balanza, W_{sum} .
- e)** Sacar el material de la canastilla y dejarlo secar en el horno durante 24 horas a una temperatura de $1110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- f)** Pesar la muestra después de 24 horas y anotar este como peso seco W_s .
- g)** Efectuar los cálculos siguientes:
 - Gravedad específica en masa (basado en el agregado seco)

$$G_s = \frac{W_s}{W_{sss} - W_{sum}}$$
 - Gravedad específica en masa (basada en el agregado saturado superficialmente seco)

$$G_s = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}}$$

- Gravedad física aparente

$$G_s = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sum}}$$

- Calcular el porcentaje de absorción.

2.3.15.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ARENA POR EL MÉTODO DE MATRACES (VOLUMÉTRICO)

- a)** Tomar una muestra de arena de 100 a 200 gr. de material en condición saturada superficialmente seca (sss).
- b)** Lavar los matraces con una solución jabonosa y posteriormente con alcohol para eliminar las partículas de grasa, luego dejarlo escurrir hasta que ya no se observe agua en el interior del matraz.
- c)** Pesar el matraz y anotar este peso como W_f .

- d)** Tomar el matraz y agregarle una muestra de agua de ± 100 ml, pesar el conjunto y anotarlo como W_{fa} .
- e)** Colocar la arena en el matraz, pesar nuevamente y anotar como W_{fma} .
- f)** Después de haber pesado el matraz, desprenda el material adherido al cuello de éste, utilizando la piseta.
- g)** Colocar el matraz en el baño de María, para extraer el aire de la muestra. Agitando el matraz eventualmente para que el aire salga. El procedimiento de baño de María puede durar de 10 minutos, o hasta que al agitar el matraz no salgan burbujas de aire de la muestra.
- h)** Tomar la temperatura introduciendo el termómetro hasta el centro del matraz.
- i)** Agregar agua desairada hasta 2 cm debajo de la marca de aforo procurando que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración.
- j)** Eliminar el agua adherida al interior del cuello del matraz con el papel toalla (teniendo cuidado de no bajar el nivel de agua de la marca de aforo).
- k)** Secar el exterior del matraz.
- l)** Pesar el conjunto y anotar este valor como W_{fam} a la temperatura de ensayo, regularmente se especifica temperaturas de 24, 26 y 28°C para tener el W_{fma} .
- m)** Para obtener el peso de la muestra (W_m) se hace la diferencia entre el $W_{fma} - W_{fa}$.
- n)** De la curva de calibración del matraz obtener el peso del matraz+agua a la marca de aforo a la temperatura del ensayo.

- o) Determinar la gravedad específica aplicando un factor de corrección por temperatura como sigue:

$$G_s = (W_s / (W_{fa} + W_s - W_{fam})) * \alpha$$

Donde:

W_{sss} = Peso de la arena en condición de saturada superficialmente seca.

W_{fa} = Peso del matraz+agua a la temperatura del ensayo (tomándolo de la carta de calibración del matraz)

W_{fam} = Peso del matraz+agua+muestra a la temperatura del ensayo.

α = Factor de corrección por temperatura.

2.3.15.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA ARENA POR EL MÉTODO DEL PICNÓMETRO (GRAVIMÉTRICO)

1. Lavar el picnómetro y ponerlo a secar.
2. Introducir agua al frasco de vidrio, colocarle el empaque y el cono, terminarlo de llenar para verificar si no existen fugas.
3. Cuando el picnómetro este lleno, secarlo por la parte exterior y pesar el conjunto W_{fa} .
4. Pesar 500 gr de arena en la condición saturada superficialmente seca.
5. Introducir la arena al picnómetro vacío y llenar con agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% del volumen total.
6. Revertir y agitar el picnómetro para eliminar las burbujas de aire, posteriormente llevar el nivel de agua en el picnómetro hasta su capacidad de calibración.

7. Secarlo por la parte exterior, y pesar el conjunto W_{f+a+a} .
8. Retirar la arena del frasco y colocarla al horno por 24 horas a una temperatura de 110 ± 5 °C, pasado ese tiempo sacar la muestra del horno, dejarla enfriar a temperatura ambiente por un período de $\frac{1}{2}$ hora y obtener el peso de la muestra W_a .
9. Calcular la gravedad específica:

$$G_s = \frac{W_{SSS}}{W_{fa} + W_{SSS} - W_{faa}}$$

Donde:

W_{SSS} = Peso de la arena en condición de saturada superficialmente seca.

W_{fa} = Peso del picnómetro + agua a la temperatura.

W_{faa} = Peso del picnómetro + agua + arena.

TABLA 1

Tamaño nominal máx. pulg. (mm)	Peso mínimo de la muestra (Kg.)
$\frac{1}{2}$ (12.5) o menor	2
$\frac{3}{4}$ (19.0)	3
1 (25.0)	4
$1 \frac{1}{2}$ (37.5)	5
2 (50.0)	8

2 ½ (3.0)	12
3 (75.0)	18
3 ½ (90)	25

FACTOR DE CORRECCION α PARA DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura en °C	Densidad del agua en gr/cm³	Factor de corrección α
20	0.99823	1.000
21	0.99802	0.9998
22	0.99780	0.9996
23	0.99757	0.9993
24	0.99732	0.9991
25	0.99707	0.9989
26	0.99681	0.9986
27	0.99354	0.9983
28	0.99626	0.9980
29	0.99597	0.9977

2.3.15.4 PRUEBAS DE GRANULOMETRIA

2.3.15.4.1 Muestra de Prueba:

La muestra de prueba de agregado cuyo análisis por tamizado vaya a efectuarse, debe mezclarse completamente y reducirse a una cantidad conveniente por medio de un equipo divisor de muestras o por cuarteo.

Agregado fino: Las muestras de prueba de agregado fino deben pesar después de secas, aproximadamente lo que se indica a continuación:

- Agregado en el que por lo menos el 95% pasa la malla N° 8.....100gr.

- Agregado en el que por lo menos el 90% pasa la malla N°4 y más de 5% quede retenida en la malla N°8.....500gr.
- Agregado Grueso: El peso de la muestra de agregado grueso deberá cumplir con lo que se indica en la tabla 4.

2.3.15.4.2 PROCEDIMIENTO:

a) Agregado Fino:

1. Para realizar esta práctica es necesario que la muestra esté completamente seca. El secado puede ser: en un horno (24 horas a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$) ó al aire.
2. Tomar 6 Kg. aproximadamente de arena seca y cuartear dos veces el material: por el método de cono o en un cuarteador.
3. Tomar una muestra de acuerdo al tamaño del agregado, según lo que especifica el apartado donde se hace la preparación de la muestra.
4. Ensámblase las mallas en orden decreciente de abertura de la malla y coloque la muestra en la malla superior, agite las mallas por medio del ROP-TAP durante un tiempo de 15 minutos y posteriormente se deja reposar durante 3 minutos para que el polvo se asiente.
5. Pese la cantidad retenida en cada malla.



2.3.15.4.3 CÁLCULOS:

1. Se sumará la cantidad de material retenida en cada malla, lo que nos permitirá detectar cualquier pérdida durante el proceso de tamizado, si se tiene una pérdida de más de 0.5%, con respecto al inicial se considera que el ensayo no es satisfactorio, si es menor se considera válido y se procederá a compensar sumando o restando la diferencia

entre el peso total de la muestra antes del tamizado y el peso total de la muestra después del tamizado, al mayor peso retenido, con el fin de obtener el peso inicial de la muestra.

2. Calcular los porcentajes de material retenido en cada tamiz, dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos entre el peso total seco. Para realizar estos cálculos, se proporcionan los anexos A-1 y A-2, tanto para arenas y gravas respectivamente.
3. Con los porcentajes retenidos parciales, calcular los porcentajes retenidos, acumulados y los porcentajes pasando.
4. Trazar la curva granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisa en la escala logarítmica la abertura de las mallas y por ordenadas los % de material que pasan por dichas mallas, a escala natural.
5. El paso anterior se hará tanto para las arenas como para las gravas, utilizando anexos A-3 y A- 4 respectivamente.
6. Con referencia al paso número 4, graficar los rangos que establecen las normas en su correspondiente figura, tanto para arenas como para gravas; verificando de esta forma si cae la granulometría dentro del rango que corresponde.
7. Calcular el modulo de finura; para las arenas.

$$M.F = \frac{\% \text{ acumulado retenido desde la malla } N^{\circ} 4 \text{ a } N^{\circ} 100}{100}$$

2.4 EL VIDRIO COMO AGREGADO

2.4.1 GENERALIDADES SOBRE EL VIDRIO.

Sustancia amorfa fabricada sobre todo a partir de sílice (SiO_2) fundida a altas temperaturas con boratos o fosfatos. También se encuentra en la naturaleza, por ejemplo en la obsidiana, un material volcánico, o en los enigmáticos objetos conocidos como tectitas. El vidrio es una sustancia amorfa porque no es ni un sólido ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las unidades moleculares, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica. El vidrio se enfría hasta solidificarse sin que se produzca cristalización; el calentamiento puede devolverle su forma líquida. El vidrio normal es incoloro, aunque añadiendo diversos componentes se consigue colorearlo, por ejemplo con óxido de hierro se colorea de verde o azul, con óxido cuproso se colorea de azul claro, con óxido de cobalto se colorea de azul se colorea con óxido crómico se colorea de amarillo verdoso; como decolorantes se usan el selenio, los óxidos de níquel o cobalto u otros.

Es transparente para el espectro visible, y los principales clarificantes son los nitratos de potasio y sodio, aunque puede también fabricarse opaco añadiendo compuestos enturbiadores, como el espato de flúor o la criolita.

a) Fabricación de vidrio

El vidrio se fabrica a partir de una mezcla compleja de compuestos vitrificantes, como sílice, fundentes, como los álcalis, y estabilizantes, como la cal. Estas materias primas se cargan en el horno de cubeta (de producción continua) por medio de una tolva. El horno se calienta con quemadores de gas o petróleo. La llama debe alcanzar una temperatura suficiente, y para ello el aire de combustión se calienta en unos recuperadores construidos con ladrillos refractarios antes de que llegue a los quemadores. El horno tiene dos recuperadores cuyas funciones cambian cada veinte minutos: uno se calienta

por contacto con los gases ardientes mientras el otro proporciona el calor acumulado al aire de combustión. La mezcla se funde (zona de fusión) a unos 1.500 °C y avanza hacia la zona de enfriamiento, donde tiene lugar el recocido. En el otro extremo del horno se alcanza una temperatura de 1.200 a 800 °C. Al vidrio así obtenido se le da forma por laminación o por otro método.

2.4.2 PROPIEDADES GENERALES DEL VIDRIO

a) DENSIDAD

2500 Kg/m³, es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de 2,5 Kg/m² por cada milímetro de espesor.

b) PUNTO DE ABLANDAMIENTO

730° C, aproximadamente

c) CONDUCTIVIDAD TERMICA

1.05 W/mK

d) COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL

Es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1° C su temperatura. Para el vidrio entre 20 y 220° C de temperatura, dicho coeficiente es: * **9 x 10⁻⁶ C**

Por ejemplo un vidrio de 2000 mm de longitud que incremente su temperatura en 30° C, sufrirá un alargamiento de $2000 (9 \times 10^{-6}) 30 = 0.54$ mm.



Coefficientes de dilatación de otros materiales

Aluminio.....	23 x 10⁻⁶ °C
Acero.....	11x10⁻⁶ °C
Cobre.....	16 x 10⁻⁶ °C
Madera.....	5-8 x 10⁻⁶ °C
Policarbonato.....	68 x 10⁻⁶ °C

e) DUREZA

* **6 a 7** en la escala de Mohs .El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.

f) MODULO DE YOUNG

720.000 Kg/cm²

Otros materiales:

Acero.....	2.100.000
Aluminio.....	700.000
Concreto.....	200.000
Policarbonato.....	21.000 - 25.000

g) COEFICIENTE DE POISSON

Varía entre **0.22 y 0.23**

h) RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

No presenta cambios

i) RESISTENCIA QUIMICA

El vidrio resiste el ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido hidrofúorídrico y, a alta temperatura, el fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio. Cuando se emplean marcos de concreto, los álcalis liberados del cemento, durante una lluvia, pueden opacar la superficie del vidrio.

La presencia de humedad entre dos hojas de vidrio estibadas durante un tiempo puede producir el "impresionado" (manchas blanquecinas) de sus superficies que, son muy difíciles de remover.

j) RESISTENCIA MECANICA

El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie.

k) RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

* Varía según la duración de la carga y oscila entre **300 y 700 K/cm²**.

Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40%.

- A mayor temperatura menor resistencia a la tracción.
- Depende del estado de los bordes del vidrio.
- El borde pulido brillante es el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde con un corte neto realizado con una rueda de carburo de tungsteno

l) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

10.000 Kg/cm² aproximadamente es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1cm de lado.

m) MÓDULO DE ROTURA PARA:

Vidrios recocidos **350 a 550 Kg/cm²**

Vidrios templados **1850 a 2100 Kg/cm²**

n) MÓDULO DE TRABAJO PARA:

Vidrio recocido, **carga momentánea 170 Kg/cm²**

Vidrio recocido, **carga permanente 60 Kg/cm²**

Vidrio templado **500 Kg/cm²**

o) VARIOS:

Un vidrio con su superficie **esmerilada o arenada** tiene un 30% menos de resistencia a la tracción.

El vidrio **laminado simétrico**, en condiciones normales de uso en aberturas presenta una resistencia, por lo menos, un **10% menor** que un Float monolítico de igual espesor total.

2.4.3 EL RECICLAJE DEL VIDRIO

Hoy en día la protección del medioambiente lleva implícita las palabras "recuperación" y/o "reciclado".

Los países industrializados son grandes productores de desechos que no se pueden destruir de una manera sencilla y rápida. Los altos costos de eliminación de residuos obligan a los gobiernos a tomar medidas encaminadas a minimizar esos residuos y reducir su dependencia de las materias primas.

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero.

Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil su medioambiente.

En este artículo se intenta explicar al consumidor (que somos la gran mayoría) el porqué y para qué del reciclado del vidrio.

2.4.3.1 CONCEPTOS BÁSICOS.

Antes de entrar plenamente en el tema concreto de la recuperación del vidrio, conviene hacer un ligero repaso sobre algunos conceptos básicos que nos permitan conocer qué es "el vidrio".

El vidrio es un silicato que funde a 1.200 grados. Está constituido esencialmente por sílice (procedente principalmente del cuarzo), acompañado de caliza y otros materiales que le dan las diferentes coloraciones.

Desde el punto de vista de su aplicación, el vidrio se clasifica en industrial (1) y doméstico (2).

1. Se entiende como vidrio industrial el vidrio que no es utilizado como envase para productos alimenticios (almacenamiento de productos químicos, biológicos, vidrio plano: ventanas, cristales blindados, fibra óptica, bombillas, etc.).
2. Se entiende como vidrio doméstico el que se emplea para almacenar productos alimenticios (conservas, vinos, yogures, etc.); aunque de una manera más generalizada, es el vidrio que el ciudadano deposita en los contenedores destinados a este fin (iglúes).

Desde el punto de vista del color los más empleados son:

- El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad en este último.
- El blanco (25%). Usado en bebidas gaseosas, zumos y alimentación en general.
- El extra claro (10%). Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.
- El opaco (5%). Aplicado en cervezas y algunas botellas de laboratorio.

Más del 42 %, del vidrio reciclado procede del doméstico, siendo el sector principal de producción de vidrio recuperable.

2.4.4.2 RECUPERACIÓN Y RECICLADO.

La recuperación del vidrio se atribuye inicialmente a Alemania y Suiza, aunque fueron los daneses los pioneros en este campo comenzando en 1962.

En España el reciclado se inició con el vidrio doméstico en febrero de 1982, concretamente en Barcelona, con un resultado de 836 Ton.

Resulta evidente el progresivo ascenso que ha tenido el reciclado del vidrio desde entonces hasta nuestros días fruto de varios aspectos:

- La sensibilización ciudadana hacia los problemas medioambientales.
- las políticas sectoriales más concretas y resolutorias.
- el apoyo de las administraciones hacia el reciclado.

2.4.4.3 LAS VENTAJAS DEL RECICLADO DEL VIDRIO:

A- Por un lado, el empleo del vidrio usado reduce considerablemente la energía necesaria para su fabricación, el promedio de ahorro en los hornos de fusión es de 130 kg. de combustible por Ton de vidrio reciclado.

B- Por otro lado, se disminuye el volumen de los residuos sólidos. Por cada tonelada de casco reciclado se reducen 1.000 Kg de basuras.

C- Se reduce la erosión producida en la búsqueda y extracción de materias primas, así como hace disminuir la dependencia del petróleo. Por cada tonelada de vidrio reciclado, se genera un ahorro de 1.200 Kg. de materias primas TEP: Toneladas equivalentes de petróleo.

D- Otra ventaja difícil de cuantificar pero no por ello menos importante es la mejora medioambiental que supone el poder reciclar envases que muchas veces, son tirados a cunetas o descampados sin ninguna consideración.

En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento.

CAPITULO 3

**PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS Y
DOSIFICACION DE MEZCLAS**

3.1 PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS.

3.1.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO:

Debido al volumen de vacío entre las distintas partículas de cualquier material suelto, resulta difícil de determinar a ciencia cierta el peso específico del mismo. Para determinar el peso específicos de los materiales agregados finos de este trabajo se utilizó una tara de volumen uniforme y se determinó con el vernier sus dimensiones las cuales arrojaron un diámetro uniforme de 7 cm y un fondo de 7 cm lo cual da un volumen de 269.39 cm³. Se tomó 10 muestras, en las que se tuvo el cuidado de enrazar la superficie de la tara; se volcó la cantidad en la balanza gravimétrica para su registro. En las tablas que aparecen a continuación se encuentran registrados los resultados de las observaciones.

3.1.2 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO PETREO (ARENA DE RIO).

ARENA DE RIO				
MUESTRA	PESO (grs)	vol. tara (cm ³)	peso especifico (grs/cm ³)	Peso especifico prom. (grs/cm ³)
1	368.65	296.39	1.37	1.38
2	376.00		1.40	
3	359.50		1.33	
4	368.80		1.37	
5	375.80		1.40	
6	366.60		1.36	
7	374.50		1.39	
8	376.60		1.40	
9	389.65		1.45	
10	373.90		1.39	
TOTAL			13.85	

3.1.3 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO VIDRIO RECICLADO.

VIDRIO RECICLADO				
MUESTRA	PESO (grs)	vol. tara (cm3)	peso especifico (grs/cm3)	Peso especifico prom. (grs/cm3)
1	360.8	296.39	1.34	1.36
2	378.3		1.40	
3	372.8		1.38	
4	365.3		1.36	
5	363.1		1.35	
6	364.5		1.35	
7	365.7		1.36	
8	364.7		1.35	
9	362.4		1.35	
10	358.4		1.33	
TOTAL			13.57	

3.1.4 PESO ESPECÍFICO AGREGADO PÉTREO (ARENA DE MINA).

ARENA DE MINA				
MUESTRA	PESO (grs)	vol. tara (cm3)	peso especifico (grs/cm3)	Peso especifico prom. (grs/cm3)
1	441.50	296.39	1.64	1.55
2	405.90		1.51	
3	422.80		1.57	
4	410.00		1.52	
5	423.10		1.57	
6	416.90		1.55	
7	419.50		1.56	
8	424.10		1.57	
9	424.50		1.58	
10	400.30		1.49	
TOTAL			15.55	

3.1.5 PESO ESPECÍFICO GRAVA DE MINA.

GRAVA DE MINA				
MUESTRA	PESO (grs)	vol. tara (cm3)	peso especifico (grs/cm3)	Peso especifico prom. (grs/cm3)
1	357.10	296.39	1.33	1.37
2	368.75		1.37	
3	367.20		1.36	
4	369.90		1.37	
5	364.80		1.35	
6	371.10		1.38	
7	375.50		1.39	
8	347.70		1.29	
9	385.50		1.43	
10	374.00		1.39	
TOTAL			13.67	

3.1.6 PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO VÍTREO.

GRAVA DE VIDRIO				
MUESTRA	PESO (grs)	vol. tara (cm3)	peso especifico (grs/cm3)	Peso especifico prom. (grs/cm3)
1	370.50	296.39	1.38	1.33
2	343.00		1.27	
3	356.20		1.32	
4	347.56		1.29	
5	371.90		1.38	
6	346.67		1.29	
7	367.98		1.37	
8	342.45		1.27	
9	373.12		1.39	
10	369.45		1.37	
TOTAL			13.32	

3.2 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LOS AGREGADOS.

3.2.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ABSORCION DE LOS AGREGADOS:

Las muestras se sometieron al procedimiento que especifica la norma ASTM C 128-01; los especímenes que no cumplían con la condición aceptada del tronco cónico fueron rechazados de la misma. Para los agregados finos se extrajeron tres muestras de 200 gr de arena que se dejó por 24 horas en el horno de secado a una temperatura de 115 °C. Posteriormente se pesó el contenido de las taras; mismo que se presenta en las siguientes tablas. Para el caso de los agregados vítreos no se llevó a cabo dichas pruebas ya que el agregado vítreo posee la característica de no absorber agua.

3.2.2 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA ARENA DE RIO.

ARENA DE RIO MORTERO			
N° muestra	peso húmedo (gr)	peso seco (gr)	% absorción
1	200	163.4	22.40
2	200	162.8	22.85
3	200	164	21.95
promedio			22.40

3.2.3 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA ARENA DE MINA.

ARENA DE MINA			
N° muestra	peso húmedo (gr)	peso seco (gr)	% absorción
1	200	179.1	11.67
2	200	177.5	12.68
3	200	179.9	11.17
4	200	178.4	12.11
promedio			11.91

3.2.4 PORCENTAJE DE ABSORCION DE LA GRAVA DE MINA.

Para el caso del agregado grueso pétreo, se llevo a cabo según la prueba ASTM C 127-01, misma que varía de la aceptada para agregado fino en cantidad de la muestra a cuartear y las cantidades de los especímenes a someter al secado. Es por ello, y debido a esas cantidades y al espacio disponible en el horno de secado se opto por hacer solo una prueba, misma que se detalla en el siguiente cuadro.

GRAVA DE MINA			
N° muestra	peso húmedo (gr)	peso seco (gr)	% absorción
1	4000	3891.6	2.79
		promedio	2.79

3.3 ANALISIS GRANULOMETRICO

3.3.1 ARENA DE RIO COMO AGREGADO FINO PETREO PARA LA ELABORACION DE LOS MORTEROS

3.3.1.1 SELECCIÓN DEL AGREGADO:

En lo referente a la selección del agregado fino pétreo que se utilizó para la elaboración de los morteros tipo “M” y “S”, se caracterizó por ser arena extraída de río y tamizada previamente con una zaranda de uso común en la albañilería.

La selección de dicha arena para la elaboración de los morteros obedeció a cuatro criterios en específicos:

5. Se pretende que los especímenes se lleven a cabo con los materiales que los constructores de la zona tienen a disposición y no con los materiales que deberían ser los ideales. Como es sabido algunas prácticas sobre lo que a repello y afinado se refiere algunos albañiles prefieren este tipo de arena a la de mina.
6. La arena de río, se supone se encuentra en mayor grado libre de material orgánico por estar constantemente lavada por las aguas del río.
7. De las minas más cercanas a la ciudad de San Miguel se encuentra la de Aramuaca, y como bien es sabido, dicha arena presenta la desventaja de llevar mucha tierra o limo lo cual hace deficiente la elaboración del mortero.
8. El mortero por ser una pasta que se utiliza para ocupar espacios más pequeños que el concreto, es recomendable que los contenidos de limos y material orgánico sean reducidos en la medida de lo posible.

El tamaño inicial de la muestra fue de 6 kg. Que fue cuarteada dos veces por medio de la cuarteadora mecánica, tal como lo establece la norma ASTM C 136-01, luego de cuarteada, se procedió a pesar nuevamente el resultante que dio un peso de 1585.4 gr (1.6 kg aproximadamente).

Este contenido se vació en un conjunto de mallas detallada en el cuadro en que se muestran los resultados de esta prueba, el conjunto de mallas son su contenido se coloco en el ROP TAP para su tamizado mecánico. Posterior a eso, se peso el contenido retenido en cada malla, práctica que arrojó las características que se detallaran a continuación.

3.3.1.2 GRANULOMETRÍA DE LA ARENA DE RIO COMO AGREGADO.

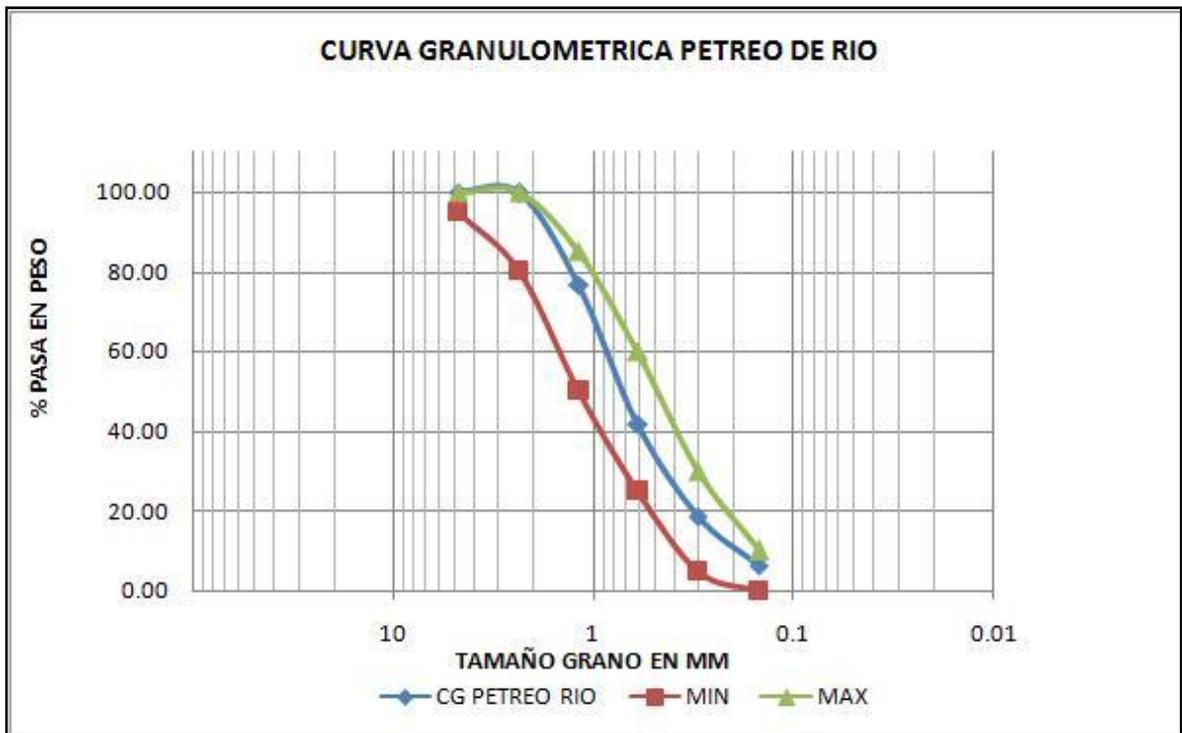
La arena antes descrita presento las siguientes características:

PROCEDENCIA DEL AGREGADO: alrededores del rio grande de San Miguel.

- a) En lo que se refiere a los porcentajes aceptables que deben pasar por las mallas para la pruebas de agregado fino, cumplió a totalidad.
- b) El modulo de finura calculado después de la prueba fue de 3.56, según la norma ASTM C-270-02 no cumple; aunque bajo ciertas consideraciones puede ser aceptable¹.
- c) La mayor cantidad de diámetro de este agregado se encuentra pasando la malla 16 y retenido en la malla 30; lo cual indica que el tamaño promedio de los diámetros de estas partículas es de aproximadamente 1.18 mm

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	% QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	5.30	0.33	0.33	99.67	95 – 100	cumple
16	1.18	364.50	22.99	23.33	76.67	70 – 100	cumple
30	6.0×10^{-4}	550.80	34.74	58.07	41.93	40 – 75	cumple
50	3.0×10^{-4}	366.40	23.11	81.18	18.82	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	195.70	12.34	93.52	6.48	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	101.10	6.38	99.90	0.10		
TOTAL		1583.80	99.90	356.33			

MF	3.56	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------



1 - Véase tecnología del concreto de Adam M. Neville requisitos granulométricos, capítulo 3

En el conjunto de graficas se puede apreciar como la curva granulométrica que arroja la prueba aplicada a la arena de rio utilizada para la elaboración de los morteros tipo M y S se encuentra dentro de los límites máximos y mínimos que establece la norma ASTM C 33-03 en dicho conjunto de curvas se aprecia que la curva de color rojo marca los límites inferiores que establece la norma; la curva verde, los superiores; y la curva azul, es la curva granulométrica de la muestra la granulometría de la arena de rio.

3.3.2 ARENA DE MINA COMO AGREGADO FINO PETREO PARA LA ELABORACION DE LOS CILINDROS PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONCRETO

3.3.2.1 SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS:

Para la elaboración de los cilindros para la prueba de compresión de concreto, se opto por llevarla a cabo con arena extraída de mina. Dicha selección, responde a los criterios siguientes:

1. Para la elaboración de los elementos de concreto y de concreto reforzado propiamente dicho, se prefiere por los constructores de la zona la arena que se extrae de las minas.
2. Que dicha preferencia obedece a criterios tales como: cantidad, disponibilidad y facilidad de transporte desde el lugar de abastecimiento de los agregados al lugar de las construcciones. Cosa que no es igual si los agregados se extraen de las orillas de los ríos.
3. Para no mostrar tendencias a favor de determinado uso de agregado (de rio específicamente), en cuanto a comparación de los resultados

de las mezclas vítreas; se optó por llevar a cabo esta parte de la investigación con arena de uso común, es decir, extraída de mina.

Se extrajo una muestra inicial del volumen total del agregado fino. El tamaño inicial de la muestra extraída fue de 6 kg, mismo que se cuarteó dos veces según lo que se especifica la norma ASTM C 136-01. Después de cuarteada la cantidad con la cual se efectuó el ensayo fue de 2010.4 gr. (aproximadamente 2.0 kg)

Este contenido se vació en un conjunto de mallas detallada en el cuadro en que se muestran los resultados de esta prueba, este conjunto de mallas son su contenido se colocó en el ROP TAP para su tamizado mecánico. Posterior a eso, se pesó el contenido retenido en cada malla, práctica que arrojó las siguientes características.

3.3.2.2 GRANULOMETRÍA DE ARENA DE MINA COMO AGREGADO:

La arena antes descrita presentó las siguientes características:

- a) En lo que se refiere a los porcentajes aceptables que deben pasar por las mallas para la pruebas de agregado fino, cumplió a totalidad.
- b) El módulo de finura calculado después de la prueba fue de 3.33, según la norma ASTM C-270-02 no cumple; aunque bajo ciertas consideraciones puede ser aceptable².
- c) La mayor cantidad de diámetro de este agregado se encuentra pasando la malla 16 y retenido en la malla 30; lo cual indica que el tamaño promedio de los diámetros de estas partículas es de aproximadamente 1.18 mm

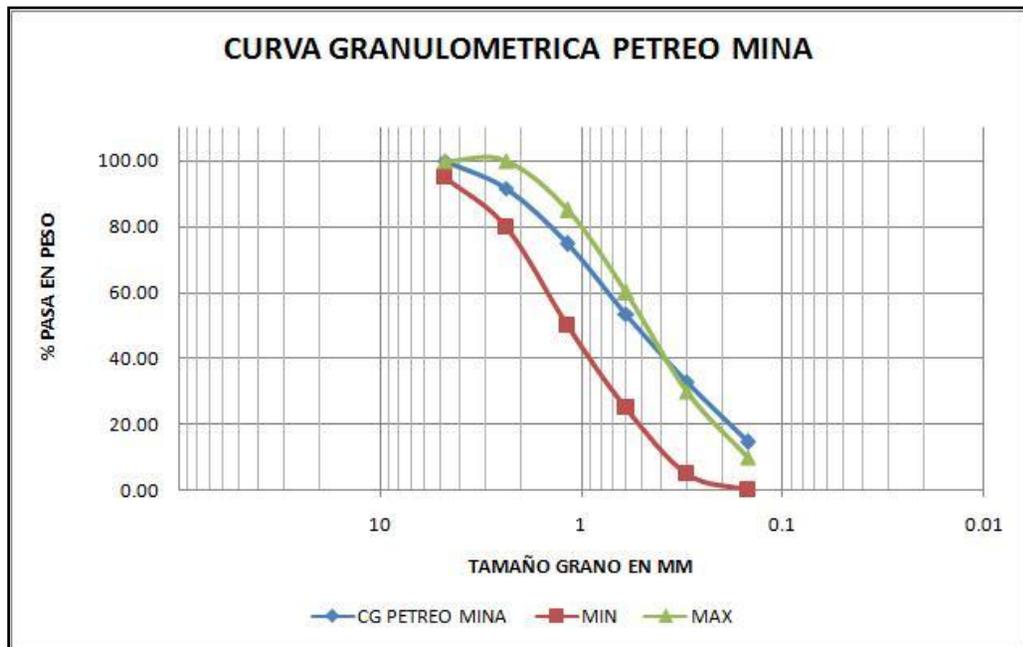
2 - Véase nota 1

TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 2 kg
 2010.4 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	% QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	172.00	8.56	8.56	91.44	95 – 100	cumple
16	1.18	335.00	16.66	25.22	74.78	70 – 100	cumple
30	6.0×10^{-4}	432.40	21.51	46.73	53.27	40 – 75	cumple
50	3.0×10^{-4}	410.90	20.44	67.17	32.83	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	367.00	18.26	85.42	14.58	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	290.20	14.43	99.86	0.14		
TOTAL		2007.50	99.86	332.94			

MF	3.33	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------

	perdida
99.86	0.14



3.3.3 EL VIDRIO COMO AGREGADO FINO VITREO USADO PARA LA ELABORACION DE CILINDROS DE CONCRETO

Con respecto a la granulometría de del vidrio como agregado, se caracterizo por ser extraída de forma manual de fragmentos más grande de este material (detallado en la parte de metodología de la investigación de este trabajo), esto tiene consecuencias sobre las pruebas granulométricas; presentadas en la siguiente tabla como los promedios pero que se detallan en la parte de anexos de este reporte.

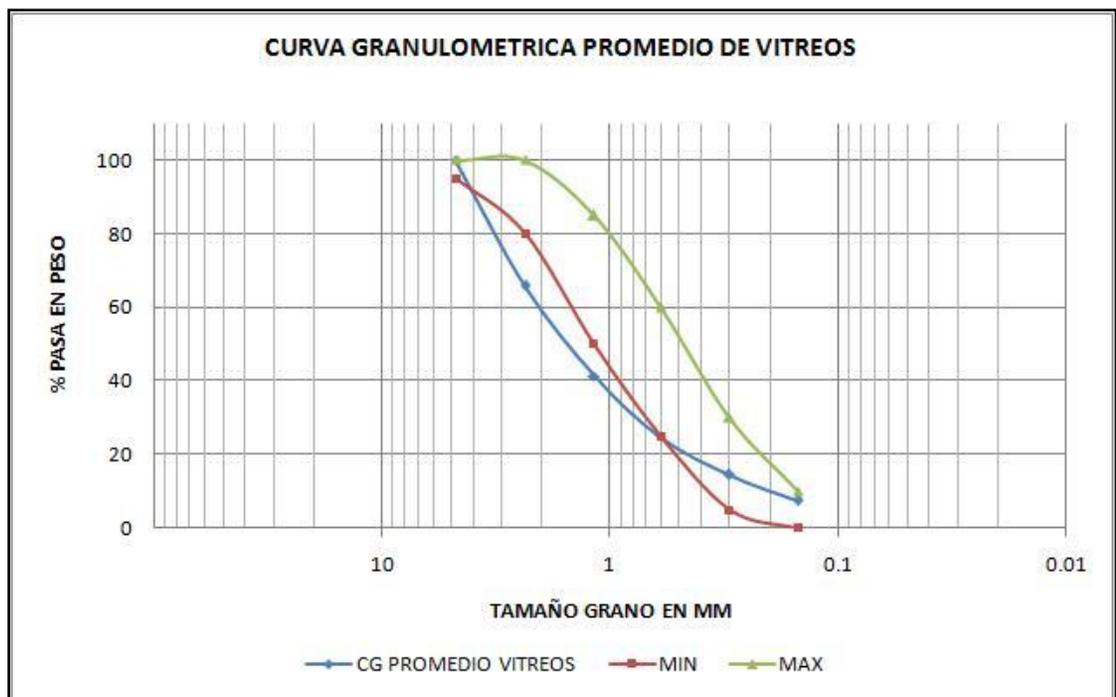
- a) Por no contar con datos teóricos acerca del comportamiento de este material en lo que se refiere a granulometría, se tomo a bien llevar a cabo la cantidad de diez pruebas granulométricas² para disipar las dudas que pudiesen quedar si solo se hubiese llevado a cabo una sola.
- b) En lo que se refiere al porcentaje de partículas que deben pasar las mallas se observa que no cumplen a partir de la malla 8 a la 30.
- c) El promedio de modulo de finura de las diez pruebas es de 4.45, según la norma ASTM C-270-02 dicho modulo no cumple.
- d) La mayor concentración de las partículas se encuentra pasando la malla 4 y retenida por la malla 8 a la 16, con lo cual se puede aseverar que el diámetro promedio de estas partículas oscila de 2.36 mm a 1.18 mm

3- el detalle de las mismas se encuentra en el apartado 3.3.4 de este capitulo

PROMEDIO DE DIEZ RESULTADOS DE GRANULOMETRIAS APLICADAS A VIDRIO COMO AGREGADO

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	499.10	34.25	34.25	65.75	95 – 100	no cumple
16	1.18	356.08	24.44	58.69	41.31	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	239.90	16.47	75.16	24.84	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	152.30	10.44	85.60	14.40	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	101.06	6.94	92.54	7.46	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	95.65	6.56	99.10	0.90		
TOTAL		1444.09	99.10	445.34	0.00		

MF	4.45		1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	--	-----------	-----------



En las curvas se puede observar el comportamiento de los promedios de las pruebas granulométricas del vidrio como material. En la parte superior de las curvas podemos observar que se encuentra por debajo de los límites mínimos recuperándose conforme desciende. Lo anterior puede deberse a muchos factores siendo el principal los métodos de reducción de los fragmentos de vidrio, que puede ser un factor salvable teniendo en cuenta que dentro de las limitaciones de la presente investigación no se conto con medios mecánicos que permitiesen mayor control sobre el tamaño de las partículas. No obstante, se sabe que pese a no cumplir con muchos criterios granulométricos que se toman como ideales, se debe hacer concreto con los materiales disponibles que resulten económicamente convenientes.

Además de lo anterior, recuérdese que en la presente investigación, no se buscara a “graduar” los materiales ya que los resultados que arroje la misma deben ser en condiciones reales de obra, no a partir de condiciones ideales.

A continuación se presenta en detalle los resultados individuales de las diez pruebas granulométricas realizadas al vidrio en sustitución del agregado fino

3.3.4 DETALLE DE LAS PRUEBAS GRANULOMETRICAS REALIZADAS AL AGREGADO FINO VITREO

A continuación se presentan los resultados de cada una de las diez pruebas llevadas a cabo para determinar el promedio de las pruebas granulométricas que se presento en el apartado anterior.

PRUEBA N° 1 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

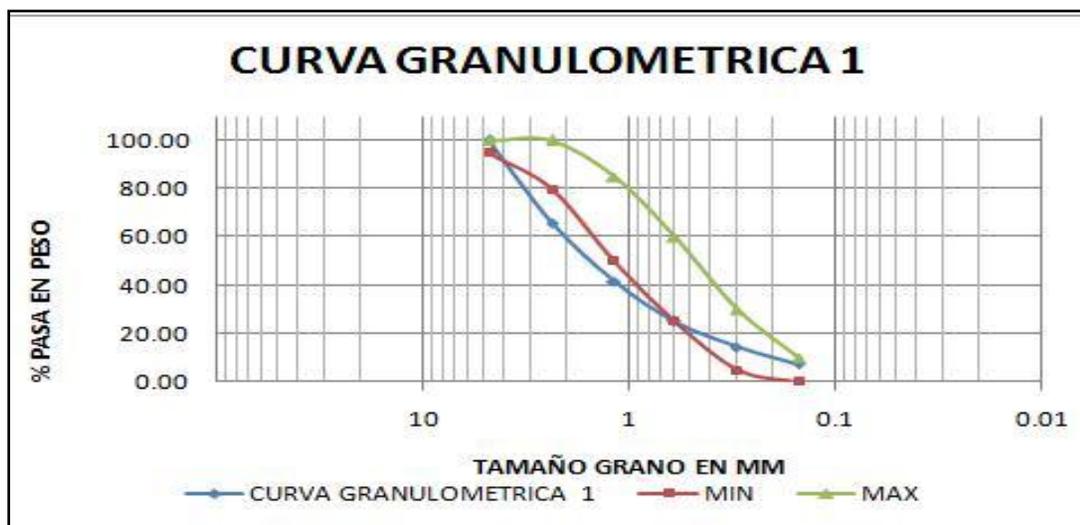
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.395 kg
 1395.9 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	473.40	33.91	33.91	66.09	95 – 100	no cumple
16	1.18	342.30	24.52	58.44	41.56	70 – 100	no cumple
30	6.0x10 ⁻⁴	229.20	16.42	74.85	25.15	40 – 75	no cumple
50	3.0x10 ⁻⁴	148.30	10.62	85.48	14.52	10 – 35	cumple
100	1.5x10 ⁻⁴	98.90	7.09	92.56	7.44	2 – 15	cumple
fondo	< 1.5x10 ⁻⁴	49.70	3.56	96.12	3.88		
TOTAL		1341.80	96.12	441.37			

MF	4.41		1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	--	-----------	-----------

	perdida
96.12	3.88

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 1



PRUEBA N° 2 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

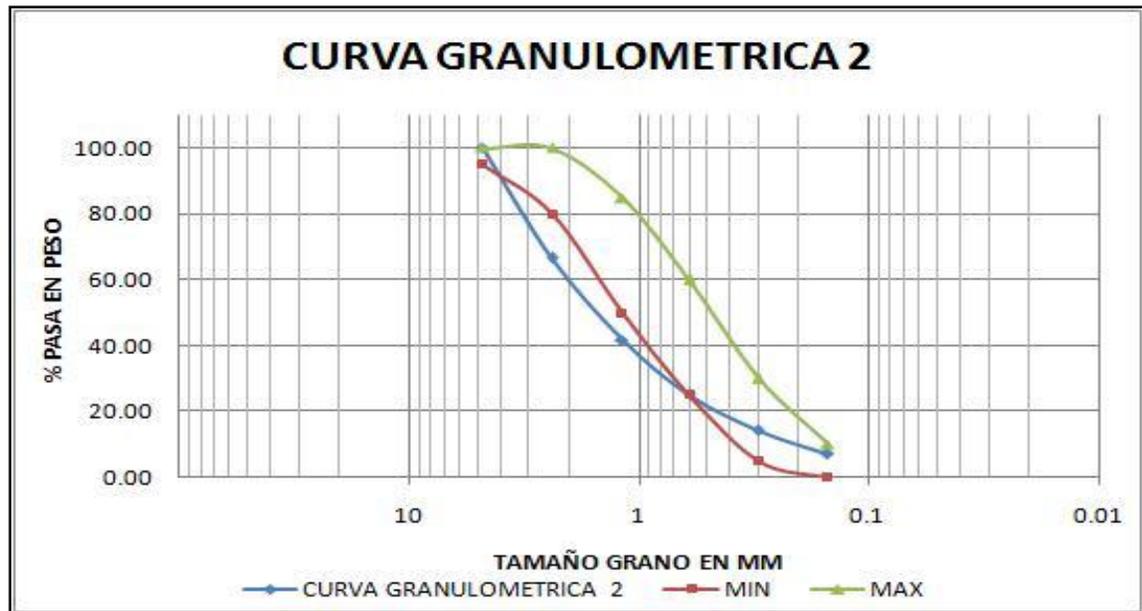
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.406 kg
 1406 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	469.90	33.42	33.42	66.58	95 – 100	no cumple
16	1.18	348.90	24.82	58.24	41.76	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	235.50	16.75	74.99	25.01	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	152.50	10.85	85.83	14.17	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	100.20	7.13	92.96	7.04	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	98.50	7.01	99.96	0.04		
TOTAL		1405.50	99.96	445.40			

MF	4.45		1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	--	-----------	-----------

	perdida
99.96	0.04

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 2



PRUEBA N° 3 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

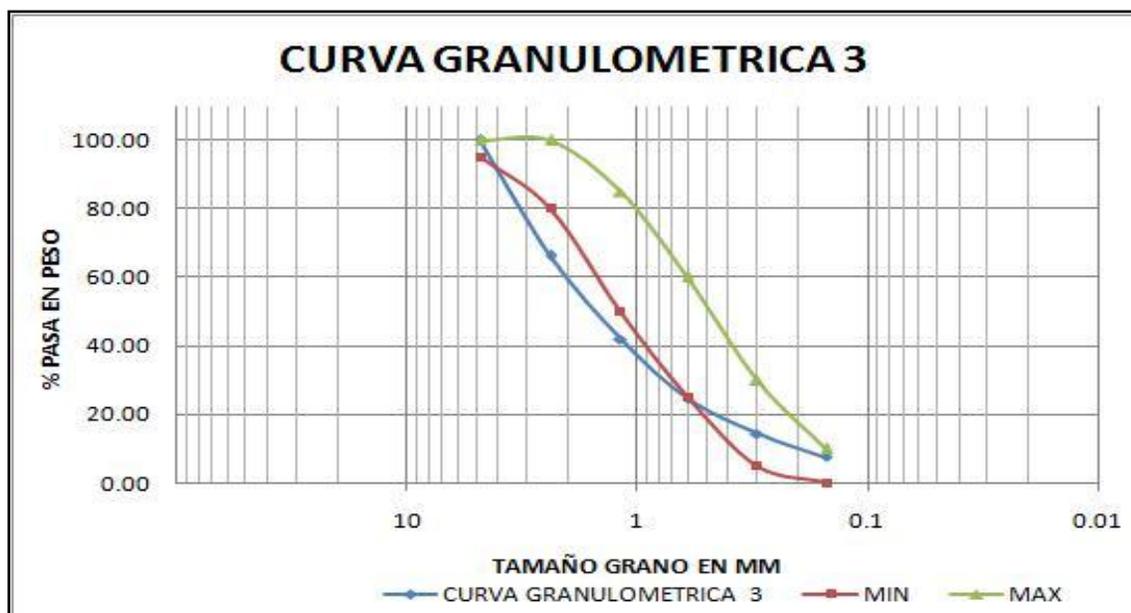
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.3052 kg
 1305.2 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	440.90	33.78	33.78	66.22	95 – 100	no cumple
16	1.18	316.40	24.24	58.02	41.98	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	225.80	17.30	75.32	24.68	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	133.10	10.20	85.52	14.48	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	90.20	6.91	92.43	7.57	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	95.10	7.29	99.72	0.28		
TOTAL		1301.50	99.72	444.79			

MF	4.45	1.6 A 2.5	CUMPLE
----	------	-----------	--------

	perdida
99.72	0.28

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 3



PRUEBA N° 4 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

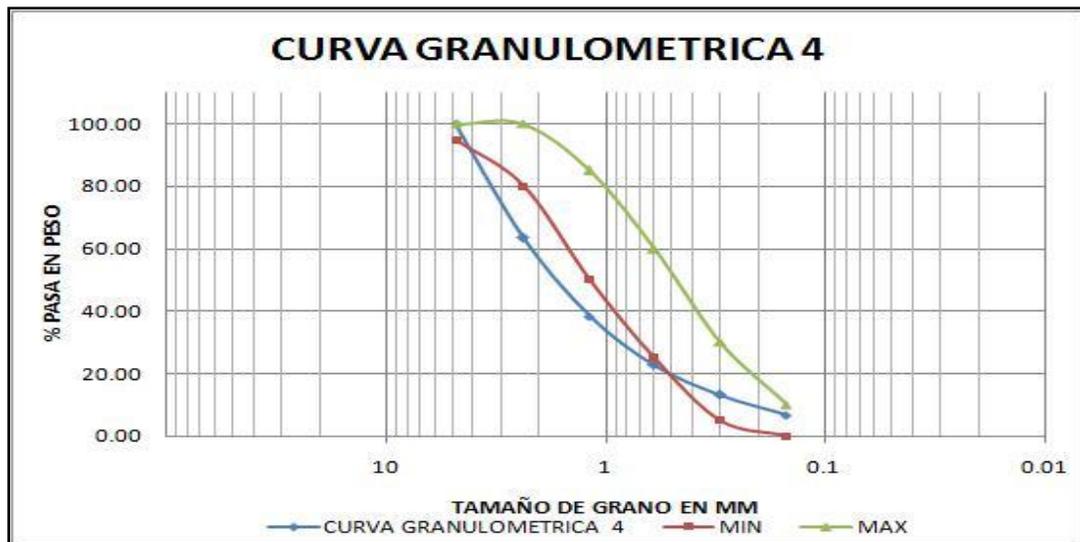
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.3 kg
 1316.8 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	482.20	36.62	36.62	63.38	95 – 100	no cumple
16	1.18	330.80	25.12	61.74	38.26	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	206.00	15.64	77.38	22.62	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	125.20	9.51	86.89	13.11	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	84.20	6.39	93.29	6.71	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	86.90	6.60	99.89	0.11		
TOTAL		1315.30	99.89	455.81			

MF	4.56		1.6 A 2.5	CUMPLE
----	------	--	-----------	--------

	perdida
99.89	0.11

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 4



PRUEBA N° 5 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

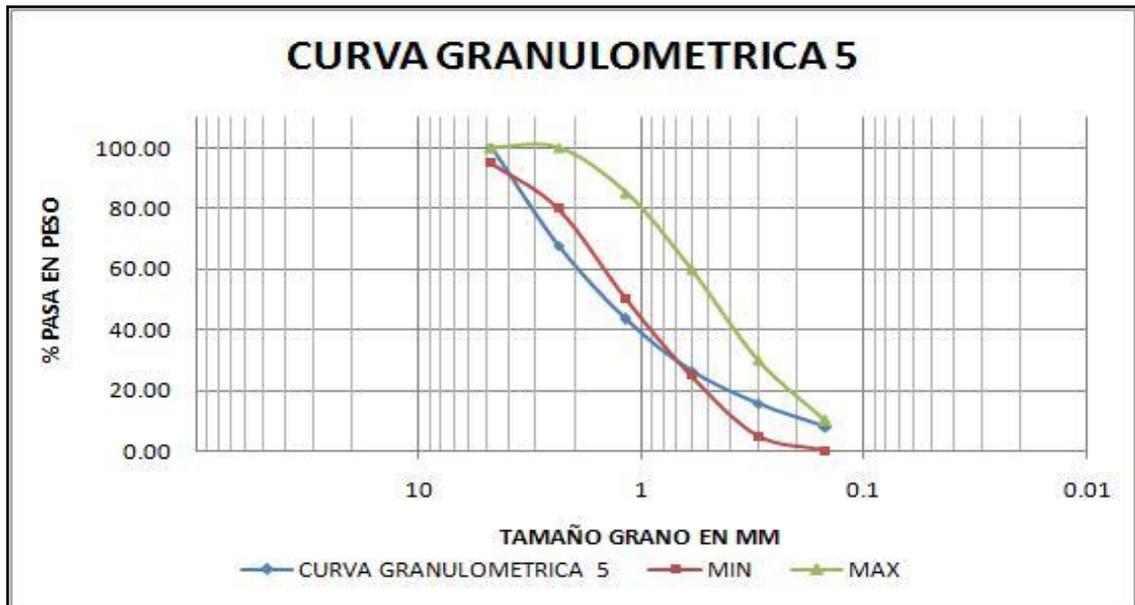
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.4 kg
 1448.1 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	466.30	32.20	32.20	67.80	95 – 100	no cumple
16	1.18	352.20	24.32	56.52	43.48	70 – 100	no cumple
30	6.0x10 ⁻⁴	244.70	16.90	73.42	26.58	40 – 75	no cumple
50	3.0x10 ⁻⁴	160.00	11.05	84.47	15.53	10 – 35	cumple
100	1.5x10 ⁻⁴	111.90	7.73	92.20	7.80	2 – 15	cumple
fondo	< 1.5x10 ⁻⁴	111.30	7.69	99.88	0.12		
TOTAL		1446.40	99.88	438.69			

MF	4.39	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------

	perdida
99.88	0.12

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 5



PRUEBA N° 6 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

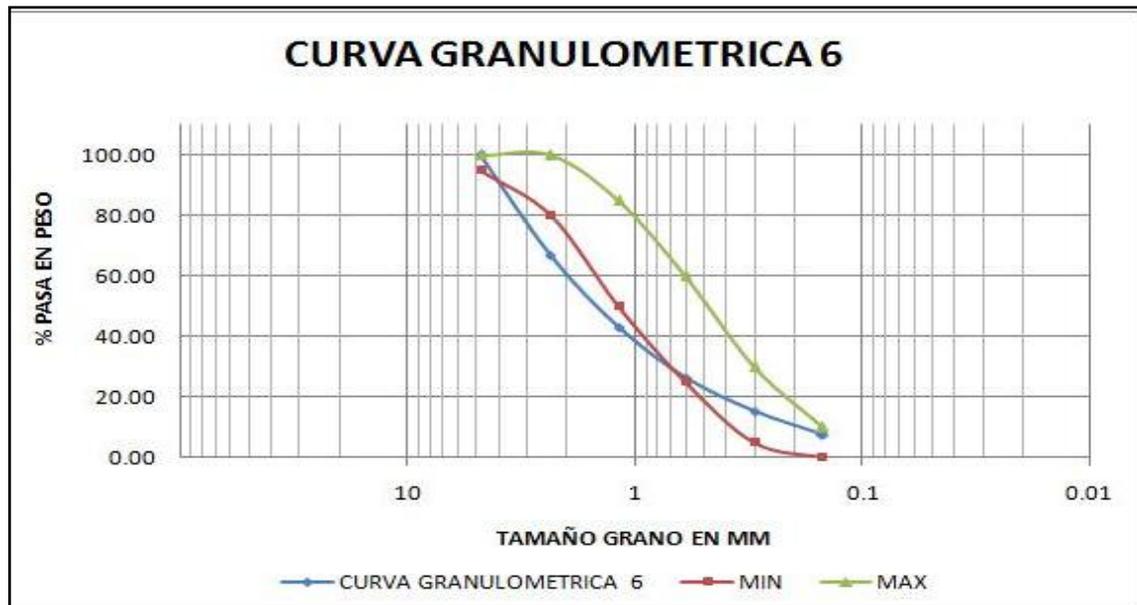
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.53 kg
 1525 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	506.50	33.21	33.21	66.79	95 – 100	no cumple
16	1.18	360.20	23.62	56.83	43.17	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	253.50	16.62	73.46	26.54	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	169.70	11.13	84.58	15.42	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	118.10	7.74	92.33	7.67	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	116.15	7.62	99.94	0.06		
TOTAL		1524.15	99.94	440.36			

MF	4.40	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------

	perdida
99.94	0.06

CURVA GRNULOMETRICA PRUEBA N° 6



PRUEBA N° 7 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

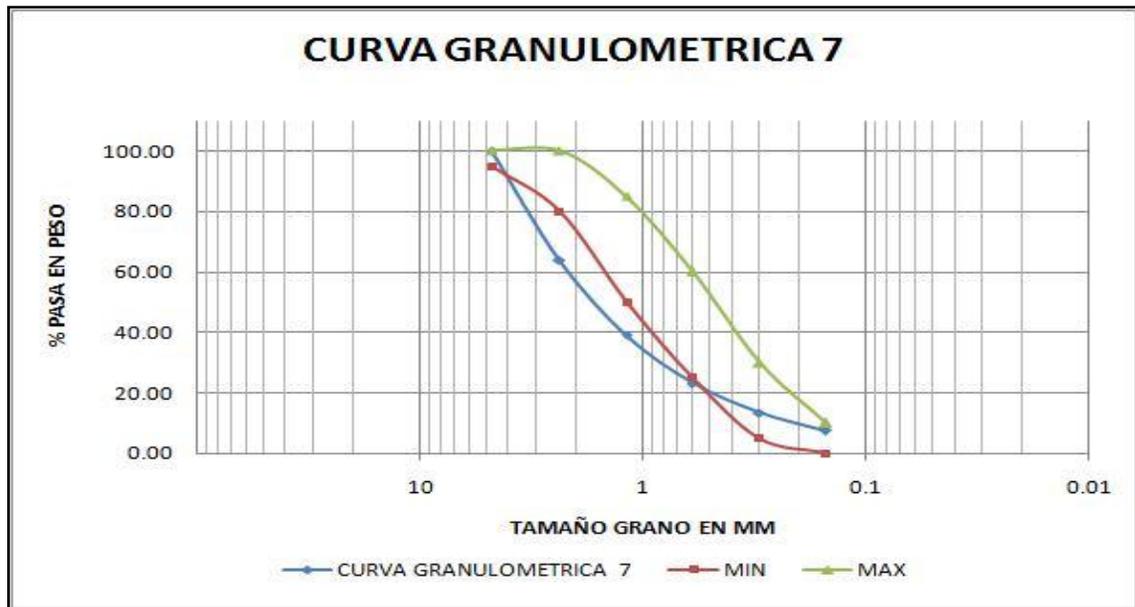
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.5 kg
 1529.3 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	553.10	36.17	36.17	63.83	95 – 100	no cumple
16	1.18	379.60	24.82	60.99	39.01	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	243.20	15.90	76.89	23.11	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	147.05	9.62	86.51	13.49	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	92.70	6.06	92.57	7.43	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	95.85	6.27	98.84	1.16		
TOTAL		1511.50	98.84	451.96			

MF	4.52	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------

	perdida
98.84	1.16

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 7



PRUEBA N° 8 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

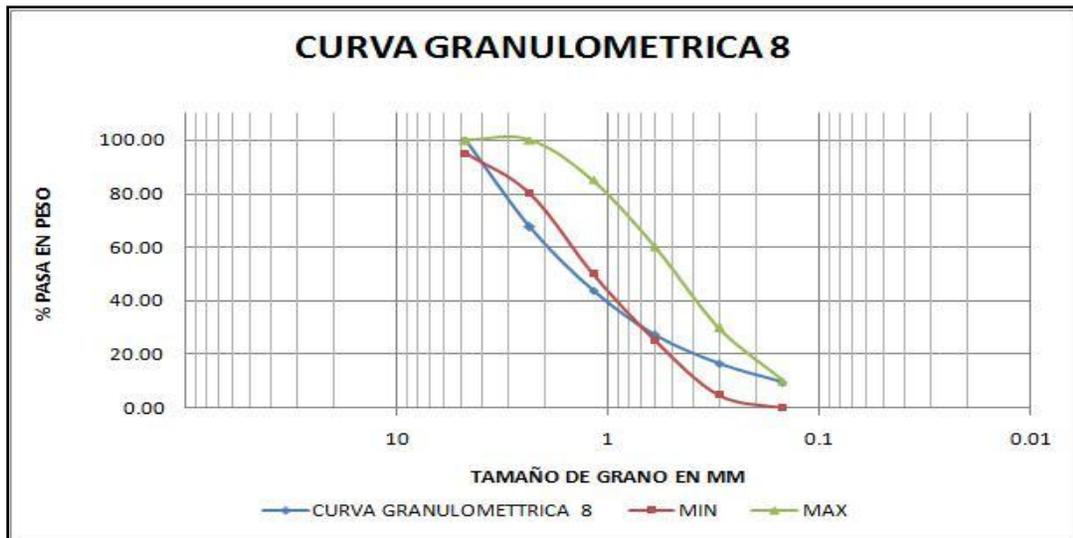
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.5 kg
 1527.8 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	496.10	32.47	32.47	67.53	95 – 100	no cumple
16	1.18	361.90	23.69	56.16	43.84	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	252.60	16.53	72.69	27.31	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	164.20	10.75	83.44	16.56	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	106.30	6.96	90.40	9.60	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	102.20	6.69	97.09	2.91		
TOTAL		1483.30	97.09	432.25			

MF	4.32		1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	--	-----------	-----------

	perdida
97.09	2.91

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 8



PRUEBA N° 9 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

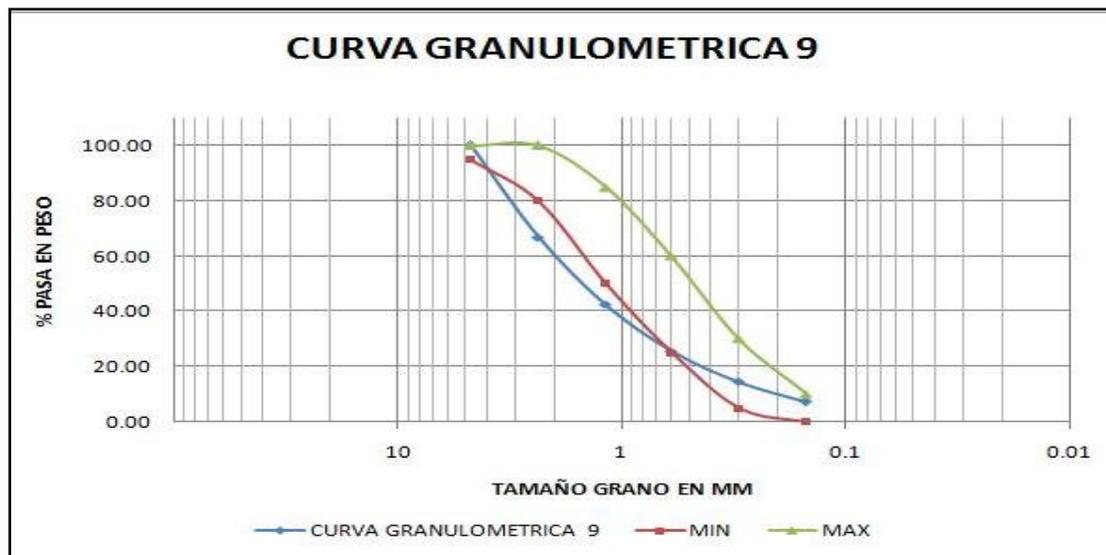
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.5 kg
 1550 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	514.80	33.21	33.21	66.79	95 – 100	no cumple
16	1.18	377.90	24.38	57.59	42.41	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	261.90	16.90	74.49	25.51	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	169.40	10.93	85.42	14.58	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	115.20	7.43	92.85	7.15	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	108.30	6.99	99.84	0.16		
TOTAL		1547.50	99.84	443.41			

MF	4.43	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	------	-----------	-----------

	perdida
99.84	0.16

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 9



PRUEBA N° 10 ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO VITREO

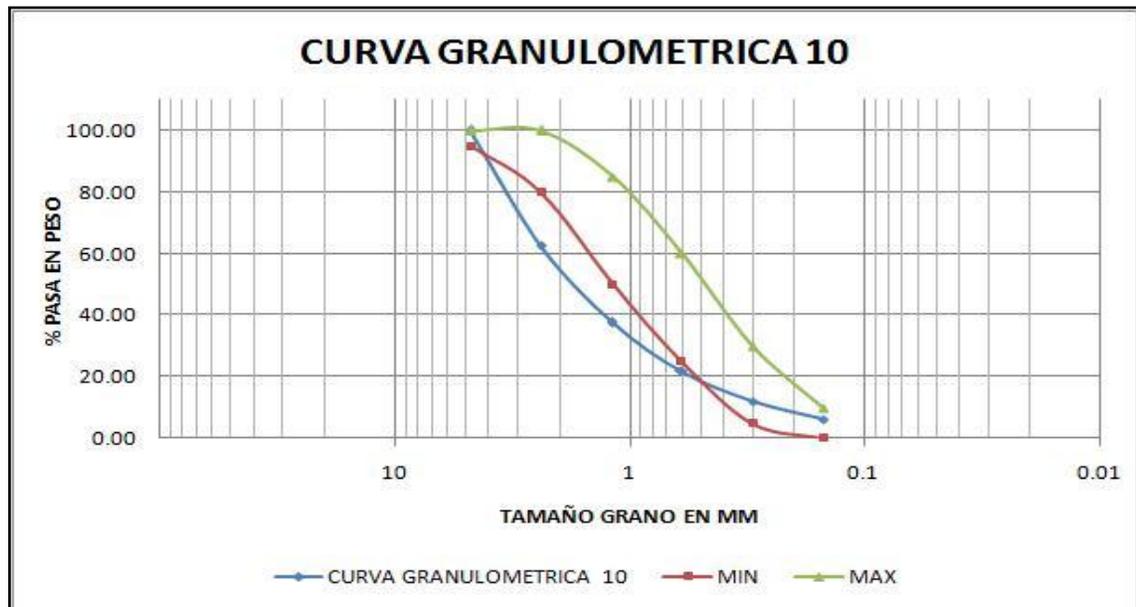
TAMAÑO DE LA MUESTRA SIN CUARTEAR 6 kg
 peso inicial muestra después de cuartear 1.6 kg
 1568.6 gr

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO PARCIAL (grs)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA LA MALLA	PORCENTAJE QUE DEBE PASAR SEGÚN LA NORMA	OBSERVACION
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00	100	cumple
8	2.36	587.80	37.47	37.47	62.53	95 – 100	no cumple
16	1.18	390.60	24.90	62.37	37.63	70 – 100	no cumple
30	6.0×10^{-4}	246.60	15.72	78.10	21.90	40 – 75	no cumple
50	3.0×10^{-4}	153.50	9.79	87.88	12.12	10 – 35	cumple
100	1.5×10^{-4}	92.90	5.92	93.80	6.20	2 – 15	cumple
fondo	$< 1.5 \times 10^{-4}$	92.50	5.90	99.70	0.30		
TOTAL		1563.90	99.70	459.33			

MF	4.5933	1.6 A 2.5	NO CUMPLE
----	--------	-----------	-----------

	perdida
99.70	0.30

CURVA GRANULOMETRICA PRUEBA N° 10



3.4 PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS.

3.4.1 PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA MORTERO TIPO “M” Y “S”.

Las tablas que siguen en los apartados siguientes responden a los proporcionamientos de las mezclas de mortero tipo M y S que se llevaron a cabo de acuerdo a lo que especifican las practicas C 109, C 270 y C 305 de la norma ASTM 01.

Para la producción de los especímenes se opto elaborar a los mismo con una mezcla de cemento portland tipo I y cemento para mampostería. Este criterio obedece a que para los fines de este trabajo, se pretende explorar inicialmente el comportamiento del vidrio al mezclarse con el material cementante; dejando para futuras investigaciones observar el comportamiento del vidrio al mezclarlo con el cemento y otros materiales; en este caso, la cal hidratada.

Se observara en las tablas de que para el caso de las dosificaciones para elaborar el mortero vítreo, no aparecerá una casilla que contiene el dato de “agua adicional” que según la norma se reajusta por absorción de agregados; esto se debe a que como se ha mencionado, el vidrio como agregado posee la característica de no retener el agua de diseño. De hecho, en la práctica de este apartado, las mezclas que contenían agregado vítreo el agua de diseño es más que suficiente que alcanzar, y a veces superar, los límites de fluidez estipulados por la norma.

3.4.1.1 DOSIFICACION MORTERO TIPO “M” (PETREO Y VITREO).

TIPO DE MORTERO: M PETREO								
PARTES POR VOLUMEN	VOLUMEN A USAR		MATERIAL	PARTES VOL	VOL MATERIAL (cm3)	PESO ESPECÍFICO MAT. (grs/cm3)	PESO MATERIAL (grs)	
	VOL CUBO	125 CM3						
CEMENTO PORTLAN	1	CANTIDAD CUBOS	9 UNID	CEMENTO PORTLAN	1 / 5	636.90	1.078	686.58
CEMENTO ALBAÑILERIA	1	TOTAL	2449.62 CM3	CEMENTO ALBAÑILERIA	1 / 5	636.90	1.078	686.58
ARENA	3	DESPERDICIO	30 %	TOTAL PESO CEMENTANTES				1373.16
TOTAL VOLUMEN	5	TOTAL VOLUMEN	3184.51 CM3	ARENA	3 / 5	1910.70	1.38	2636.77

AGUA A USAR	%	PESO (grs)	ADICIONAL % ABSORCION
	0.47	645.38	54.74

TIPO DE MORTERO: M VITREO								
PARTES POR VOLUMEN	VOLUMEN A USAR		MATERIAL	PARTES VOL	VOL MATERIAL (cm3)	PESO ESPECÍFICO MAT. (grs/cm3)	PESO MATERIAL (grs)	
	VOL. CUBO	125 CM3						
CEMENTO PORTLAN	1	CANTIDAD CUBOS	9 UNID	CEMENTO PORTLAN	1 / 5	636.90	1.078	686.58
CEMENTO ALBAÑILERIA	1	TOTAL	2449.62 CM3	CEMENTO ALBAÑILERIA	1 / 5	636.90	1.078	686.58
VIDRIO	3	DESPERDICIO	30 %	TOTAL PESO CEMENTANTES				1373.16
TOTAL VOLUMEN	5	TOTAL VOLUMEN	3184.51 CM3	VIDRIO	3 / 5	1910.70	1.36	2598.56

AGUA A USAR	%	PESO (grs)
	0.47	645.38

3.4.1.2 DOSIFICACION MORTERO TIPO “S” (VITREO Y PETREO)

TIPO DE MORTERO: S PETREO									
PARTES POR VOLUMEN	VOLUMEN A USAR			MATERIAL	PARTES VOL	VOL MATERIAL (cm3)	PESO ESPECÍFICO MAT. (grs/cm3)	PESO MATERIAL (grs)	
	VOL CUBO	125	CM3						
CEMENTO PORTLAN	0.5	CANTIDAD CUBOS	9	UNID	CEMENTO PORTLAN	0.5 / 4.5	353.87	1.078	381.48
CEMENTO ALBAÑILERIA	1	TOTAL	2449.9	CM3	CEMENTO ALBAÑILERIA	1 / 4.5	707.75	1.078	762.95
ARENA	3	DESPERDICIO	30	%	TOTAL PESO CEMENTANTES			1144.43	
TOTAL VOLUMEN	4.5	TOTAL VOLUMEN	3184.87	CM3	ARENA	3 / 4.5	2123.25	1.36	2887.62

AGUA A USAR	%	PESO (grs)	ADICIONAL % ABSORCION
	0.47	537.88	108.95

TIPO DE MORTERO: S VITREO									
PARTES POR VOLUMEN	VOLUMEN A USAR			MATERIAL	PARTES VOL	VOL MATERIAL (cm3)	PESO ESPECÍFICO MAT. (grs/cm3)	PESO MATERIAL (grs)	
	VOL CUBO	125	CM3						
CEMENTO PORTLAN	0.5	CANTIDAD CUBOS	9	UNID	CEMENTO PORTLAN	0.5 / 4.5	353.87	1.078	381.48
CEMENTO ALBAÑILERIA	1	TOTAL	2449.9	CM3	CEMENTO ALBAÑILERIA	1 / 4.5	707.75	1.078	762.95
VIDRIO	3	DESPERDICIO	30	%	TOTAL PESO CEMENTANTES			1144.43	
TOTAL VOLUMEN	4.5	TOTAL VOLUMEN	3184.87	CM3	VIDRIO	3 / 4.5	2123.25	1.36	2887.62

AGUA A USAR	%	PESO (grs)
	0.47	537.88

3.4.2 PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS PARA CONCRETO USANDO EL AGREGADO PETREO Y VITREO.

Los proporcionamientos de las mezclas que se usaron para los siguientes apartados fueron hechos siguiendo los lineamientos de la práctica recomendada por el ACI 211.1-91 y están divididos en dos grandes categorías: usando agregado pétreo y usando agregado vítreo. Las mismas se presentan de una forma sencilla para su mejor comprensión (en forma de reporte).

El uso de los dos distintos tipos de agregados (pétreos y vítreos) responde al criterio de comparación en el uso de los mismos en las mezclas de concreto. Mismo que se verá adelante.

En todas las mezclas se uso el mismo tipo y marca de cemento: Cemento portland marca Cessa tipo I.

Para la dosificación se uso una balanza digital con una capacidad máxima de 30 kg.

Debido a impedimentos de espacios en el laboratorio, las mezclas se llevaron a cabo al aire libre, entre los meses de mayo a junio y entre las 10 am a 12 am; ante lo cual, la elaboración de las distintas mezclas se vio influida por una temperatura ambiente imperante de la cual no se llevo control alguno. A este hecho se puede argumentar que el control de la temperatura ambiente en una construcción real, se ve influida también de la misma manera por los cambios de clima en que se vea envuelta, y que los mismos – a menos que se trate de lluvia – no son impedimento para continuar con el avance de las obras.

3.4.2.1 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA CONCRETO DE PESO NORMAL TIPO I USANDO AGREGADO PETREO.

La subdivisión de este apartado consta de tres partes que corresponden a las tres relaciones agua-cemento de 0.5, 0.6 y 0.65 de acuerdo a lo que establece la practica ACI 318S-05.

La cantidad de lotes (de 16 cilindros cada uno) para este apartado es de dos y responden a la cantidad necesaria que según el ACI 318S-05 recomienda para llegar a una cantidad de muestras mayor que 30 cilindros.

3.4.2.1.1 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.5 USANDO AGREGADO PETREO.

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	1.00 IN
	2.54 CM
RELACION A/C:	0.50

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	202.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	404.00	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	3.33		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1370.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.65	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	890.50	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2380.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	202.00	KG/M3	
cemento	404.00	KG/M3	
agregado grueso	890.50	KG/M3	
total	1496.50	KG/M3	
AGREGADO FINO	883.50	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	2.79	
% ABSORCION DE ARENA	11.91	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	24.84	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	105.22	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	130.07	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	332.07	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.09	M3	Este volumen es el considerado para llenar dos lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	32.87	KG	
CEMENTO	40.00	KG	
AGREGADO GRUESO	88.16	KG	
AGREGADO FINO	87.47	KG	se considera un 10% de desperdicio

3.4.2.1.2 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.6 USANDO AGREGADO PETREO.

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	1.00 IN
	2.54 CM
RELACION A/C:	0.60

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	202.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	336.67	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	3.33		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1370.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.65	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	890.50	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2380.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	202.00	KG/M3	
cemento	336.67	KG/M3	
agregado grueso	890.50	KG/M3	
total	1429.17	KG/M3	
AGREGADO FINO	950.83	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	2.79	
% ABSORCION DE ARENA	11.91	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	24.84	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	113.24	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	138.09	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	340.09	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.10		Este volumen es el considerado para llenar dos lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	33.28	KG	
CEMENTO	32.94	KG	
AGREGADO GRUESO	87.14	KG	
AGREGADO FINO	93.04	KG	se considera un 10% de desperdicio

**3.4.2.1.3 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.65
USANDO AGREGADO PETREO.**

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	1.00 IN
	2.54 CM
RELACION A/C:	0.65

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	202.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	310.77	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	3.33		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1370.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.65	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	890.50	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2380.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	202.00	KG/M3	
cemento	310.77	KG/M3	
agregado grueso	890.50	KG/M3	
total	1403.27	KG/M3	
AGREGADO FINO	976.73	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	2.79	
% ABSORCION DE ARENA	11.91	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	24.84	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	116.33	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	141.17	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	343.17	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.09		Este volumen es el considerado para llenar dos lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	31.19	KG	
CEMENTO	28.25	KG	
AGREGADO GRUESO	80.95	KG	
AGREGADO FINO	88.78	KG	se considera un 10% de desperdicio

3.4.2.2 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA CONCRETO DE PESO NORMAL TIPO I USANDO AGREGADO VITREO.

La subdivisión de este apartado al igual que el anterior consta de los mismas tres relaciones agua-cemento y cambia solamente en el hecho de que el numero de lotes aumenta en uno que es el necesario para determinar la curva resistencia edad para este concreto.

Cambia así mismo algunos datos en los reportes. Esto se debe a la diferencia en el tamaño máximo del agregado; que es de una pulgada para el caso de las mezclas pétreas y de media pulgada para el caso de las vítreas.

A pesar de que la práctica del ACI 211.1-91 no está especificada para las mezclas utilizando vidrio reciclado como agregado, se tomara como parámetro para la elaboración de las mismas; esto puede conllevar a una serie de errores de apreciación o de adecuación de los materiales que pudieran afectar el resultado final; sin embargo, no teniendo ningún otro parámetro que permita controlar la elaboración de las mezclas de concreto se tomara ese riesgo inicial, ejemplo de ello es el hecho de que el vidrio no absorbe el agua de diseño; la practica ACI 211.1-91 requiere un reajuste por dicha perdida.

3.4.2.2.1 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.5 USANDO AGREGADO VITREO.

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	0.50 IN
	1.27 CM
RELACION A/C:	0.50

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	228.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	456.00	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	4.45		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1320.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.53	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	699.60	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2310.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	228.00	KG/M3	
cemento	456.00	KG/M3	
agregado grueso	699.60	KG/M3	
total	1383.60	KG/M3	
AGREGADO FINO	926.40	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	0.00	
% ABSORCION DE ARENA	0.00	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	0.00	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	0.00	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	0.00	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	228.00	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.09	Este volumen es el considerado para llenar tres lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	20.73	KG
CEMENTO	41.45	KG
AGREGADO GRUESO	63.59	KG
AGREGADO FINO	84.21	KG
		se considera un 10% de desperdicio

3.4.2.2.2 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.6 USANDO AGREGADO VITREO.

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	0.50 IN
	1.27 CM
RELACION A/C:	0.60

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	228.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	380.00	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	4.45		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1320.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.53	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	699.60	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2310.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	228.00	KG/M3	
cemento	380.00	KG/M3	
agregado grueso	699.60	KG/M3	
total	1307.60	KG/M3	
AGREGADO FINO	1002.40	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	0.00	
% ABSORCION DE ARENA	0.00	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	0.00	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	0.00	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	0.00	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	228.00	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.25	Este volumen es el considerado para llenar tres lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	62.70	KG
CEMENTO	104.50	KG
AGREGADO GRUESO	192.39	KG
AGREGADO FINO	275.66	KG
		se considera un 10% de desperdicio

**3.4.2.2.3 PROPORCIONAMIENTO USANDO A/C DE 0.65
USANDO AGREGADO VITREO.**

I. DATOS PRELIMINARES

REVENIMIENTO:	6.00 IN
	15.24 CM
TAMAÑO MAX. AGREGADO:	0.50 IN
	1.27 CM
RELACION A/C:	0.65

II. CALCULO DE AGUA DE DISEÑO

CALCULO DEL AGUA DEL AGUA DE MEZCLADO	228.00	KG/M3	Este dato se extrae de la tabla 6.3.3 del ACI 211.1-91 tomando como datos de entrada del revenimiento seleccionado y el tamaño máximo del agregado.
---------------------------------------	--------	-------	---

III. CONTENIDO DE CEMENTO.

CONTENIDO DE CEMENTO:	350.77	KG/M3
-----------------------	--------	-------

IV. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO.

MODULO DE FINURA AGREGADO FINO	4.45		Este dato se extrajo de las pruebas granulométricas.
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO	1320.00	KG/M3	
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	0.53	M3/M3	Dato extraído de la tabla 6.3.6. ACI 211.1-91 que relaciona el modulo de finura con el tamaño máximo del agregado
PESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO	699.60	KG/M3	

V. CONTENIDO DE AGREGADO FINO.

ESTIMACION:	2310.00	KG/M3	Este dato proviene de la tabla A1.5.3.7.1 ACI 211.1-91
agua	228.00	KG/M3	
cemento	350.77	KG/M3	
agregado grueso	699.60	KG/M3	
total	1278.37	KG/M3	
AGREGADO FINO	1031.63	KG/M3	

VI. AJUSTES POR HUMEDAD.

% ABSORCION DE GRAVA	0.00	
% ABSORCION DE ARENA	0.00	
PESO POR ABSORCION DE LA GRAVA	0.00	KG/M3
PESO POR ABSORCION DE LA ARENA	0.00	KG/M3
AGUA POR ABSORCION DE AGREGADOS	0.00	KG/M3
TOTAL DE AGUA A USAR EN LA MEZCLA	228.00	KG/M3

VII. TOTAL DE MATERIAL A USAR EN LA MEZCLA.

VOLUMEN DEL COLADO:	0.09	Este volumen es el considerado para llenar tres lotes de 16 cilindros para la prueba de compresión.
AGUA	20.52	KG
CEMENTO	31.57	KG
AGREGADO GRUESO	62.96	KG
AGREGADO FINO	92.85	KG
		se considera un 10% de desperdicio

3.5 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACION DE LOS MEZCLADOS.

Los agregados, antes de utilización en las mezclas, fueron depositados a granel y bajo techo en el interior del laboratorio para evitar se expusieran más de lo debido al intemperismo o la humedad del ambiente.

Los mezclados fueron hechos utilizando una mezcladora mecánica de una bolsa de capacidad.

La mezcla, luego de comprobar que el revenimiento requerido había sido alcanzado, se vació en un contenedor plástico de gran volumen para depositarlo finalmente en los moldes cilíndricos para concreto. Las mezclas que rebasaron el límite tolerable del revenimiento requerido fueron desechadas.

El límite tolerable al que se refiere el inciso anterior está contemplado en la norma ASTM C 270-02.

Una vez colocado el concreto en los cilindros, se dejaron curando 24 horas, luego de las cuales fueron desentoldadas e inmediatamente sumergidas en la pila de curados a temperatura ambiente.

3.6 PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO Y REVENIMIENTO DE CONCRETO.

3.6.1 PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO.

La norma ASTM C 270-02 especifica que la fluidez para los morteros debe oscilar entre 100% a 115% del incremento del diámetro de la base del cono para fluidez después de dejar caer la mesa de fluidez 25 veces a una altura de 1.27 cm en un lapso de 15 segundos

Los resultados para los distintos morteros se muestran a continuación:

DESCRIPCION		DIAMETRO INICIAL (cm)	DIAMETRO DESPUES PRUEBA (cm)	PORCENTAJE	OBSERVACION NORMA
MORTERO VITREO	M	17	40	135	NO CUMPLE
MORTERO PETREO	M	17	35	106	CUMPLE

DESCRIPCION		DIAMETRO INICIAL (cm)	DIAMETRO DESPUES PRUEBA (cm)	PORCENTAJE	OBSERVACION NORMA
MORTERO VITREO	S	17	38	124	NO CUMPLE
MORTERO PETREO	S	17	34	100	CUMPLE

3.6.2 PRUEBAS DE REVENIMIENTO DE CONCRETO.

Las pruebas a que se refieren los siguientes apartados se llevaron a cabo siguiendo los lineamientos del ASTM C 143-00 y los del ACI 117-06-2.5.1. Esta ultima especifica que las pruebas de revenimiento son aceptables si se encuentran más o menos una pulgada arriba o abajo del revenimiento requerido como máximo. Debido al hecho de que el vidrio como agregado posee la característica de no absorber agua y a que no se puede precisar a ciencia cierta el comportamiento del revenimiento en estas mezclas, establecer un límite como el que propone la norma ACI 117-06 se vuelve aceptable y de vital

importancia para no desechar ni juzgar de inmediato las mezclas con agregado vítreo.

3.6.2.1 PRUEBAS DE REVENIMIENTO PRACTICADAS A LAS MEZCLAS CON AGREGADO PETREO.

DESCRIPCION DE LAS MEZCLAS	REVENIMIENTO ALCANZADO				OBSERVACION
MEZCLA 1 A/C 0.5 AGREGADO PETREO	15.87	CM	6.25	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.5 AGREGADO PETREO	15.87	CM	6.25	IN	CUMPLE
MEZCLA 1 A/C 0.6 AGREGADO PETREO	16.51	CM	6.50	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.6 AGREGADO PETREO	16.51	CM	6.50	IN	CUMPLE
MEZCLA 1 A/C 0.65 AGREGADO PETREO	17.14	CM	6.75	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.65 AGREGADO PETREO	17.14	CM	6.75	IN	CUMPLE

3.6.2.2 PRUEBAS DE REVENIMIETO PRACTICADAS A LAS MEZCLAS CON AGREGADO VITREO.

DESCRIPCION DE LAS MEZCLAS	REVENIMIENTO ALCANZADO				OBSERVACION
MEZCLA 1 A/C 0.5 AGREGADO VITREO	13.33	CM	5.25	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.5 AGREGADO VITREO	13.97	CM	5.50	IN	CUMPLE
MEZCLA 3 A/C 0.5 AGREGADO VITREO	13.97	CM	5.50	IN	CUMPLE
MEZCLA 1 A/C 0.6 AGREGADO VITREO	15.87	CM	6.25	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.6 AGREGADO VITREO	14.60	CM	5.75	IN	CUMPLE
MEZCLA 3 A/C 0.6 AGREGADO VITREO	14.60	CM	5.75	IN	CUMPLE
MEZCLA 1 A/C 0.65 AGREGADO VITREO	15.87	CM	6.25	IN	CUMPLE
MEZCLA 2 A/C 0.65 AGREGADO VITREO	14.91	CM	5.87	IN	CUMPLE
MEZCLA 3 A/C 0.65 AGREGADO VITREO	14.91	CM	5.87	IN	CUMPLE

3.7 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE FLUIDEZ DE MORTERO.

Se puede observar en la tablas del apartado 3.6.1. Que las mezclas usando material vítreo sobrepasan el limite de revenimiento requerido por la

norma ASTM C 270-02 esto se debe a que la elaboración de las mezclas de mortero está contempladas para el uso de material pétreo como agregado, lo cual significa que consideran un porcentaje de absorción propio de los agregados pétreos. Con la mínima cantidad de agua requerida el material vítreo sobrepasa dicho límite. La fluidez en este caso fue sobrepasada por ese factor. Experimentos futuros usando distintas relaciones de porcentaje de agua podrán arrojar un límite exacto para determinar la cantidad de agua necesaria.

A pesar de no cumplir con los límites de fluidez previsto habrá que terminar de confrontar estos datos con los resultados que alcancen la resistencia a compresión de los cubos para formarse una idea completa de los resultados obtenidos.

3.8 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS PRUEBAS DE REVENIMIENTO.

Si se analizan con cuidado la trayectoria del diseño hasta la elaboración de las mezclas de concreto usando el material vítreo como agregado, se puede observar que en las mezclas vítreas se pueden alcanzar los mismos revenimientos de las mezclas usando el material pétreo con un mínimo de agua. Las mezclas hechas con el material vítreo tienden a ser más fluidas que las que utilizan el material pétreo. Con lo que se podría concluir que en lo que a la prueba de revenimiento se refiere las mezclas con material vítreo son más eficientes

En lo que se refiere a la colocación de las mezclas, las mezclas con material vítreo son más eficientes al varillado, tienden a ser muy suaves, lo cual conlleva a reducir el número de espacios vacíos en los elementos a colar (conocidos comúnmente como panales).

**3.9 IMÁGENES RELACIONADAS CON LA ELABORACION
DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO USANDO
AGREGADO VITREO.**



Imagen 3.9.1. Detalle de Vidrio reciclado luego de ser reducido.



Imagen 3.9.2. Detalle del método de los pesos.



Imagen 3.9.3. Detalle de dosificación del agregado.



Imagen 3.9.4. Mezcladora mecánica utilizada en el Proceso.



Imagen 3.9.5. Proceso de mezclado y verificación del Revenimiento.



Imagen 3.9.6. Almacenaje de cilindros.



Imagen 3.9.7. Muestra Terminada.



Imagen 3.9.8 Curado de los Cilindros.

**3.10 IMÁGENES RELACIONADAS A LAS PRUEBAS DE
REVENIMIENTO EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO
USANDO LOS DISTINTOS TIPOS DE AGREGADOS.**



Imagen 3.10.1. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.5 usando agregado pétreo.



Imagen 3.10.2. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.6 usando agregado pétreo.



Imagen 3.10.3. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.65 usando agregado pétreo.



Imagen 3.10.4. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.5 usando agregado vítreo.



Imagen 3.10.5. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.5 usando agregado vítreo.



Imagen 3.10.6. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.6 usando agregado vítreo.



Imagen 3.10.7. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.6 usando agregado vítreo.



Imagen 3.10.8. Prueba de revenimiento para la mezcla de a/c de 0.6 usando agregado vítreo.

CAPITULO 4

RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS DE MORTERO

4.1 RESULTADOS ALCANZADOS EN LA ELABORACION DE DE LOS MORTEROS.

4.1.1 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO PETREO.

MUESTRA	RESISTENCIA ALCANZADA (kg/cm ²)	OBSERVACION
1	189.49	CUMPLE
2	177.65	CUMPLE
3	177.65	CUMPLE
4	180.61	CUMPLE
5	180.61	CUMPLE
6	177.65	CUMPLE
7	151.00	NO CUMPLE
8	174.69	CUMPLE
9	174.69	CUMPLE

4.1.2 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO PETREO.

MUESTRA	RESISTENCIA ALCANZADA (kg/cm ²)	OBSERVACION
1	103.63	NO CUMPLE
2	124.35	CUMPLE
3	133.24	CUMPLE
4	148.04	CUMPLE
5	136.20	CUMPLE
6	136.20	CUMPLE
7	136.20	CUMPLE
8	142.12	CUMPLE
9	124.35	CUMPLE

4.1.3 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO VITREO.

MUESTRA	RESISTENCIA ALCANZADA (kg/cm ²)	OBSERVACION
1	174.69	CUMPLE
2	159.88	CUMPLE
3	165.80	CUMPLE
4	165.80	CUMPLE
5	162.84	CUMPLE
6	171.73	CUMPLE
7	165.80	CUMPLE
8	162.84	CUMPLE
9	177.65	CUMPLE

4.1.4 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO VITREO.

MUESTRA	RESISTENCIA ALCANZADA (kg/cm ²)	OBSERVACION
1	192.45	CUMPLE
2	171.73	CUMPLE
3	162.84	CUMPLE
4	171.73	CUMPLE
5	192.45	CUMPLE
6	207.26	CUMPLE
7	177.65	CUMPLE
8	171.73	CUMPLE
9	177.68	CUMPLE

4.2 ANALISIS, COMPARACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LOS MORTEROS.

4.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS PETREAS.

En lo que se refiere a los resultados logrados por las mezclas pétreas se puede considerar a las mismas como satisfactorias. Las norma ASTM C 270-02 Pide como mínimo un total de seis resultados positivo por mezclado y la ASTM C 109-02, en el apartado 13.2 especifica que el rango permisible para 3 cubos es de 8.7% abajo del promedio o resistencia esperada. Existe en ambas mezclas al menos una muestra por debajo del la resistencia esperada, las demás se mantienen dentro de los parámetros de las citadas normas como por ejemplo el valor mínimo aceptable para una resistencia de 175 kg/cm² que corresponde al mortero M es de 159.77 y de 114.12 kg/cm² para una resistencia de 125 kg/cm² que corresponde al mortero tipo S. Luego los resultados obtenidos en las mezclas pétreas son satisfactorios y por tal motivo son satisfactorios para efectos de comparación con las mezclas en que se uso el agregado vítreo.

4.2.2 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO M USANDO AGREGADO VITREO.

La hipótesis 3 de este trabajo se cumple en lo referente a la resistencia alcanzada por las mezclas de mortero tipo M usando vidrio reciclado como agregado sobre todo si se toma en cuenta lo especificado en la norma ASTM C 109-02.

Del cuadro del apartado 4.1.3. Puede observarse que, si bien es cierto que solo unas de las muestras llego a la resistencia esperada de 175 kg/cm² todas las demás pruebas se encuentra por debajo de la resistencia esperada pero dentro de los parámetros de la norma ASTM C 109-02 (159.77 kg/cm²) y

el promedio de estas se encuentran en un valor de 167.45 kg/cm^2 lo cual cumple. Por otro lado, el promedio de las mezclas del tipo M usando el agregado pétreo son de 176 kg/cm^2 . Lo anterior, arroja una diferencia promedio de alrededor de 8.55 kg/cm^2 . Si tomamos como base la resistencia de 175 kg/cm^2 el porcentaje ganado por las mezclas vítreas es de unos 95%.

La interpretación de lo anterior sería que las mezclas vítreas son casi similares a las pétreas y que el factor que pudo determinar la diferencia del 5% faltante podría estar en la graduación del agregado vítreo en comparación del pétreo y en el porcentaje por volumen que ocupó el agregado vítreo para esta mezcla.

4.2.3 RESISTENCIA ALCANZADA POR LOS MORTEROS TIPO S USANDO AGREGADO VITREO.

La hipótesis 3 de este trabajo es verdadera para el apartado relacionado a las mezclas de mortero tipo S usando el vidrio reciclado como agregado.

Analizando los resultados del cuadro del apartado 4.1.4. Puede observarse que el promedio de las mezclas es de 180.61 kg/cm^2 mientras que el promedio de las mezclas de este mismo tipo usando el agregado pétreo es de unos 131.59 kg/cm^2 . Si se toma como base la resistencia esperada del agregado pétreo se observa que el porcentaje alcanzado por las mezclas vítreas es 144.49% lo cual indica que en lo que a estas mezclas se refiere los resultados son satisfactorios tomando en cuenta que ni siquiera se precisan acá los límites permisibles del ASTM C 109-02.

4.2.4 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS EN LAS MEZCLAS VITREAS.

Analizando el porqué los resultados en los morteros tipo S con agregado vítreo supero a los tipos S vítreos y M vítreos podemos argumentar que:

- En el mortero tipo M la cantidad de agregado vítreo usado es de 3/5 por volumen, frente a 1/5 de cada uno de los cementantes usados. Esto se traduce a que el vidrio ocupa un 60%, mientras que los cementantes ocupan un 40% en total.
- En el mortero tipo S la cantidad del mismo agregado ocupa un porcentaje del volumen de 67%, frente a un 11% del cemento portland y un 22% del cemento de albañilería; el total de los cementantes son de unos 33%.
- Claramente se advierte que la cantidad de vidrio reciclado fue mayor en la elaboración de los morteros S y que el uso de los cementantes fue menor en el mismo caso.
- La razón por la cual las mismas mezclas alcanzaron una resistencia mayor que las esperadas para las mezclas pétreas reside en el hecho de que la cantidad de vidrio usado por volumen fue mayor y también que la dureza del vidrio es superior a la del agregado pétreo.
- Futuras investigaciones podrán determinar la proporción exacta a utilizar en estos y otros tipos de morteros.

4.3 IMÁGENES RELACIONADAS CON LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MORTEROS.



Imagen 4.3.1. Elementos de Mortero Tipo "S" con agregado Vítreo.



Imagen 4.3.2. Elementos de Mortero Tipo "S" con agregado Pétreo.



Imagen 4.3.3. Elementos de Mortero Tipo "M" con agregado Pétreo.



Imagen 4.3.4. Elementos de Mortero Tipo "S" con agregado Vítreo.



Imagen 4.3.5. Elementos de Mortero Sometidos a Compresión.



Imagen 4.3.6. Tipos de falla en algunos especímenes de Mortero.



Imagen 4.3.7. Tipo de Falla en un Especimen de mortero Vítreo.



Imagen 4.3.8. Momento en el que el cubo está siendo sometido a compresión.

CAPITULO 5

**RESULTADOS DE LA ELABORACION DE LAS
MEZCLAS DE CONCRETO**

5.1 CRITERIOS PARA EL CONTROL Y ACEPTACION DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.

Para establecer parámetros claros acerca del control para la aceptación o rechazo de las mezclas producidas, se establecerán como mínimo tres criterios de aceptación.

5.1.1 CRITERIOS DE ACEPTACION ESPECIFICADOS POR EL ACI 318-02.

La sección 5.6.3.3 *del ACI 318-05* establece que el nivel de resistencia para cada clase de concreto se considera satisfactorio si cumple simultáneamente los requisitos siguientes:

- a) Los promedios de todos los conjuntos de tres pruebas consecutivas de resistencia igualan o superan a f'_c especificado.
- b) Ningún resultado de prueba individual de resistencia estará por debajo de f'_c por más de 3.5 Mpa (35.7 kg/cm²), para concretos con $f'_c \leq 35$ Mpa (357 kg/cm²), o tenga una resistencia inferior a $0.9 \cdot f'_c$ para concretos con $f'_c > 35$ Mpa.

5.1.2 CRITERIOS ESTADISTICOS.

En la revista N° 32 del ISCYC publicada en marzo de 2004, en el artículo titulado “CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO” apartado 3.3 se lee lo siguiente:

“La decisión relativa a si la desviación estándar o el coeficiente de variación es la medida apropiada de dispersión que debe utilizarse en determinada situación, depende de cuál de las dos medidas es la constante más cercana a las características de resistencia, a través de un intervalo de resultados, de esta situación en particular. La presente información indica que la desviación estándar permanece

como una constante más aproximada, en especial para resistencias superiores a 200 Kg/cm². El coeficiente de variación se considera más aplicable para las variaciones dentro de la prueba.

La Tabla 3 muestra la variabilidad que puede esperarse de las pruebas de resistencia a la compresión en proyectos sujetos a diferentes grados de control”

Tabla 3. Normas para el Control del Concreto

Variación Total					
CLASE DE OPERACIÓN	Desviación Estándar para diferentes normas de control (Kg/cm ²)				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en el campo	< 25	25 a 35	35 a 40	40 a 50	> 50
Mezclas de prueba de laboratorio	< 15	15 a 17	17 a 20	20 a 25	> 51
Variación en las Pruebas					
CLASE DE OPERACIÓN	Coeficiente de variación para diferentes normas de control (%)				
	Excelente	Muy buena	Buena	Aceptable	Pobre
Pruebas de control en el campo	< 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	> 6
Mezclas de prueba de laboratorio	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 6	> 5

5.1.3 CRITERIOS USANDO LA DISTRIBUCION NORMAL PARA LA FRECUENCIA DE RESULTADOS POR DEBAJO DEL f'_c USANDO UN METODO SIMPLIFICADO.

Para tener un porcentaje permisible en las pruebas con resultados inferiores a la resistencia especificada, la norma ASTM C 94 – 74 establece un límite del 10 % en estructuras de concreto diseñadas con el método de resistencia última.

Con el objetivo de satisfacer los requerimientos de resistencia, el concreto debe estar proporcionado de manera que produzca una resistencia

promedio superior a la especificada. El margen o exceso de resistencia depende de la variabilidad del concreto. Esto se puede verificar en la figura 5.1.3-a

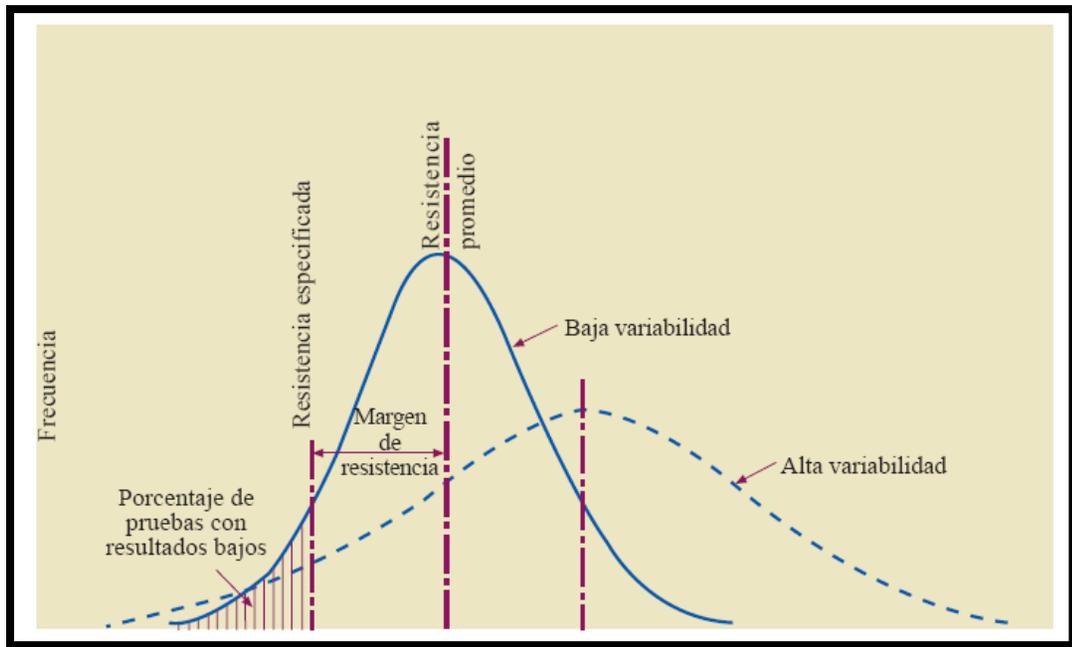


Fig. 5.1.3.a

Matemáticamente se expresa con la ecuación siguiente:

$$f_{cr} = f'_c + t * S$$

En donde:

f_{cr} = resistencia promedio a la compresión requerida del concreto.

f'_c = resistencia especificada a la compresión del concreto

S = desviación estándar

t = constante relacionada con el % permisible de pruebas con resultados bajos

Resistencia promedio requerida cuando existe información que permita establecer la desviación estándar. Utilizar el mayor valor de las ecuaciones (5.1) y (5.2) o (5.1) y (5.3).

Resistencia especificada a compresión $f'c$	Resistencia promedio requerida a compresión fcr
$f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$fcr = f'c + 1.34xS$ (5.1)
	$fcr = f'c + 2.33xS - 35$ (5.2)
$f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$fcr = f'c + 1.34xS$ (5.1)
	$fcr = 0.9 f'c + 2.33xS$ (5.3)

Una vez hecho lo arriba mencionado, se despeja el valor t y se confronta en la grafica de la fig. 5.1.3-b para conocer el porcentaje de pruebas por debajo del $f'c$ que se han producido en la fabricación de las mezclas.

El ACI permite, aunque implícitamente, que a largo plazo 9% de las pruebas puedan quedar por debajo de la resistencia especificada. Sin embargo, dentro de la dispersión común raramente se encontrarán resultados por debajo de este nivel con más de 35 kg/cm². Así mismo se ha establecido un límite de 1% para el suceso de un evento tan adverso. También se establece el mismo límite cuando el promedio de resultados en tres pruebas consecutivas sea menor que la resistencia especificada. En resumen, el concreto debe estar proporcionado de tal manera, que no falle más de una vez en un total de 100 pruebas, a fin de satisfacer cualquiera de los criterios de aceptación. La prueba de aceptación es favorable para el fabricante, ya que su riesgo con un concreto que tenga 10% por debajo de la resistencia especificada, es aproximadamente 2 % y se vuelve menor en concretos de calidad más alta; así el fabricante está seguro que prácticamente siempre será aceptado un buen concreto. El riesgo para el fabricante se reduce si la calidad del concreto se mejora por arriba de los requerimientos, entonces queda a criterio del fabricante si decide trabajar con una alta calidad y un riesgo bajo o viceversa.

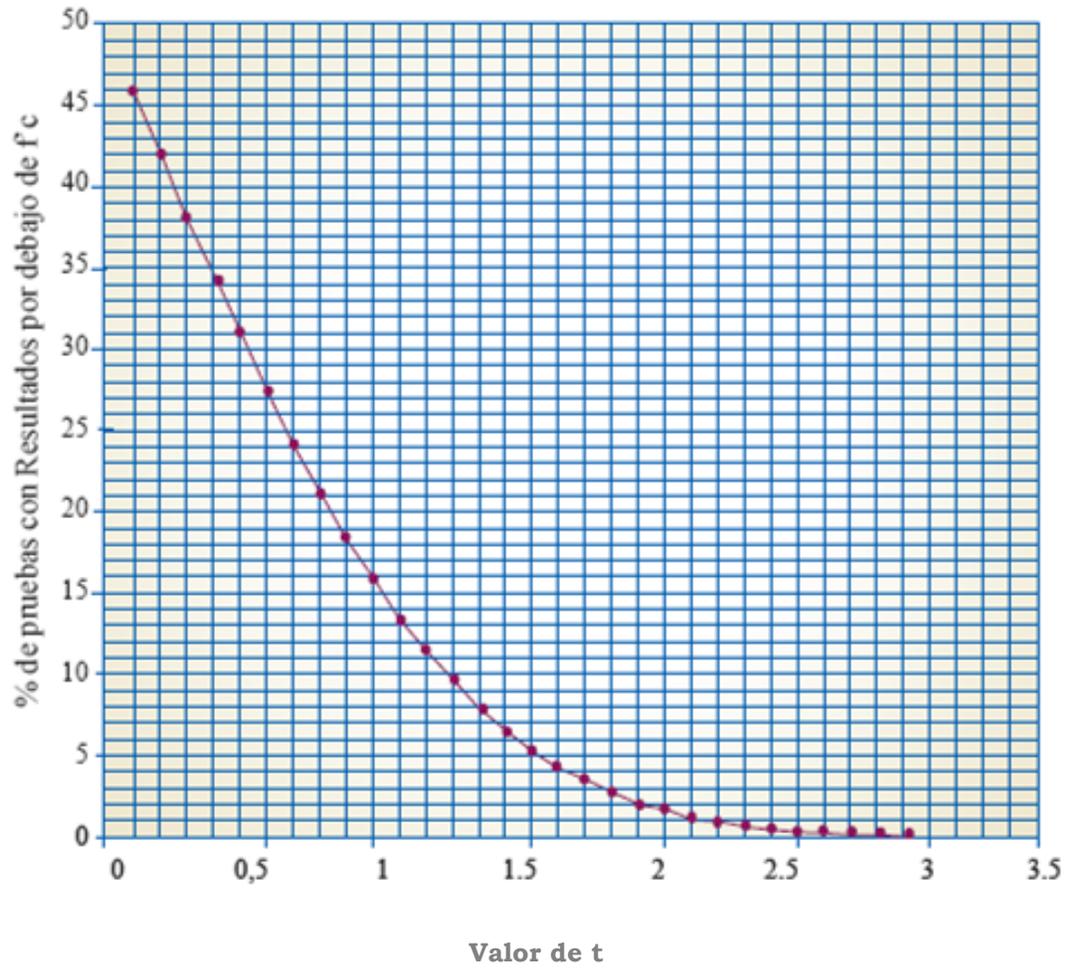


Fig. 5.1.3-b

5.2 RESULTADOS ALCANZADOS EN LAS PRUEBAS DE COMPRESION DE CILINDROS.

5.2.1 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO EL AGREGADO PETREO.

Para realizar las pruebas de compresión de cilindros a las mezclas en que se uso el agregado pétreo se selecciono dos lotes de 16 cilindros cada uno para hacer un total de 32 muestras y superar así los requisitos impuestos en el ACI 318S-05 ante lo cual se tiene un total de 32 cilindros para cada relación A/C; siendo un total de 96 cilindros para esta parte de la investigación.

Tanto los lotes de cilindros con agregado pétreo, como los vítreos se comprimieron en la maquina que para tal fin se encuentra en el laboratorio de suelos y materiales de la FMO.

**5.2.1.1 RESISTENCIA ALCANZADA EN LAS PRUEBAS DE
COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.5 Y AGREGADO PETREO.**

LOTE	PRUEBA	f _c ALCANZADA (Kg/cm ²)	PROMEDIO TRES CILINDROS (Kg/cm ²)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	209.56		28	99.79 %	NO CUMPLE
	2	236.95		28	112.83 %	CUMPLE
	3	242.45	229.65	28	115.45 %	CUMPLE
	4	242.96		28	115.70 %	CUMPLE
	5	208.96		28	99.50 %	NO CUMPLE
	6	216.65	222.86	28	103.17 %	CUMPLE
	7	256.43		28	122.11 %	CUMPLE
	8	209.74		28	99.88 %	NO CUMPLE
	9	217.06	227.74	28	103.36 %	CUMPLE
	10	227.26		28	108.22 %	CUMPLE
	11	239.29		28	113.95 %	CUMPLE
	12	226.64	231.06	28	107.93 %	CUMPLE
	13	242.66		28	115.55 %	CUMPLE
	14	237.76		28	113.22 %	CUMPLE
	15	228.89	236.44	28	108.99 %	CUMPLE
	16	230.42		28	109.72 %	CUMPLE
2	17	219.24		28	104.40 %	CUMPLE
	18	243.31		28	115.86 %	CUMPLE
	19	224.85	229.13	28	107.07 %	CUMPLE
	20	236.37		28	112.56 %	CUMPLE
	21	226.89		28	108.04 %	CUMPLE
	22	233.11	232.12	28	111.00 %	CUMPLE
	23	227.50		28	108.33 %	CUMPLE
	24	226.68		28	107.94 %	CUMPLE
	25	244.13	232.77	28	116.25 %	CUMPLE
	26	234.95		28	111.88 %	CUMPLE
	27	245.66		28	116.98 %	CUMPLE
	28	230.56	237.06	28	109.79 %	CUMPLE
	29	232.60		28	110.76 %	CUMPLE
	30	249.02		28	118.58 %	CUMPLE
	31	241.68	241.10	28	115.09 %	CUMPLE
	32	247.70		28	117.95 %	CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318S-02 se puede observar que el diseño de estas mezclas es satisfactorio.

En igual forma, de la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 232.44 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 12.06 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$C. V. = 5.19 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$Md = 232.86 \quad (\text{mediana})$$

Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del ACI, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f_{cr} .

$$f_{cr} = f_c + t s$$

$$f_{cr} = 210 + 1.43(12.06) = 227.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = f_c + t s - 35$$

$$f_{cr} = 210 + 2.33(12.06) - 35 = 203.10 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor mayor de estas ecuaciones 227.25 kg/cm²

$$F_{cr} = f_c + tS$$

$$232.44 = 210 + t(12.06)$$

$$t(12.06) = 22.44$$

$$t = 1.86$$

Para un $t = 1.86$ en la grafica 5.2 se tiene que el total de pruebas debajo de f_c es del 3%

El Reglamento de las Construcciones ACI 318-02 solo permite el 9.0 % de resultados por debajo de f_c y la norma ASTM C 94 -74 permite el 10.0 %. Ningún resultado cae por debajo de $f_c - 35$ (175 Kg/cm²) ya que el menor es 197.47 Kg/cm².

Por todo lo anterior se puede concluir que la mezcla de A/C 0.5 con agregado pétreo fue satisfactoria dentro de los criterios de aceptación que contempla este trabajo.

**5.2.1.2 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE
COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.6 Y
AGREGADO PETREO.**

LOTE	PRUEBA	f'c ALCANZADA (Kg/cm2)	PROMEDIO TRES CILINDROS (kg/cm2)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	215.83	214.73	28	102.78 %	CUMPLE
	2	213.18		28	101.51 %	CUMPLE
	3	215.19		28	102.47 %	CUMPLE
	4	210.63	209.23	28	100.30 %	CUMPLE
	5	206.75		28	98.45 %	NO CUMPLE
	6	210.32	213.96	28	100.15 %	CUMPLE
	7	214.00		28	101.90 %	CUMPLE
	8	217.77		28	103.70 %	CUMPLE
	9	210.12	219.70	28	100.06 %	CUMPLE
	10	226.44		28	107.83 %	CUMPLE
	11	212.35	217.87	28	101.12 %	CUMPLE
	12	220.32		28	104.91 %	CUMPLE
	13	220.52		28	105.01 %	CUMPLE
	14	223.69	217.87	28	106.52 %	CUMPLE
	15	209.41		28	99.72 %	NO CUMPLE
	16	209.71		28	99.86 %	NO CUMPLE
2	17	221.75	219.54	28	105.60 %	CUMPLE
	18	213.69		28	101.76 %	CUMPLE
	19	223.18		28	106.28 %	CUMPLE
	20	221.63	218.91	28	105.54 %	CUMPLE
	21	213.40		28	101.62 %	CUMPLE
	22	221.70	220.78	28	105.57 %	CUMPLE
	23	218.60		28	104.10 %	CUMPLE
	24	220.70		28	105.10 %	CUMPLE
	25	223.05	223.65	28	106.21 %	CUMPLE
	26	224.67		28	106.99 %	CUMPLE
	27	226.38	217.67	28	107.80 %	CUMPLE
	28	219.90		28	104.71 %	CUMPLE
	29	214.31		28	102.05 %	CUMPLE
	30	214.78	217.67	28	102.28 %	CUMPLE
	31	223.93		28	106.63 %	CUMPLE
	32	216.43		28	103.06 %	CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318 se puede observar que el diseño de estas mezclas no cumple el primer requisito en el segundo promedio de tres cilindros consecutivos; esto habrá que terminarlo de confrontar con el tercer criterio de aceptación. Según el segundo requisito establecido en el código, es satisfactorio pues ninguna mezcla es menor que 175 kg/cm².

De la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 217.32 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 5.53 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$C. V. = 2.55 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$Md = 217.10 \quad (\text{mediana})$$

Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del mismo, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f_{cr} .

$$f_{cr} = \bar{f}_c + t s$$

$$f_{cr} = 210 + 1.43(5.58) = 218.26 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{cr} = \bar{f}_c + t s - 35$$

$$f_{cr} = 210 + 2.33(5.58) - 35 = 188.00 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor mayor de estas ecuaciones 188.00 kg/cm²

$$F_{cr} = f'_c + t \times S$$

$$217.32 = 210 + t(5.58)$$

$$t(5.58) = 7.32$$

$$t = 1.31$$

Para t= 1.31 se tiene que el porcentaje de pruebas debajo de f'_c es de un 8%.

El Reglamento de las Construcciones ACI 318-02 solo permite el 9.0 % de resultados por debajo de f'_c y la norma ASTM C 94 -74 permite el 10.0 %. Ningún resultado cae por debajo de f'_c -35 (175 Kg/cm²) ya que el menor es 206.75 Kg/cm².

La mezcla se acepta a pesar que no cumple el primer criterio del ACI 318-02 en el segundo tercio del promedio de las muestras.

5.2.1.3 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.65 Y AGREGADO PETREO.

LOTE	PRUEBA	f'c ALCANZADA (Kg/cm2)	PROMEDIO TRES CILINDROS (kg/cm2)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	218.28	215.52	28	103.94 %	CUMPLE
	2	213.37		28	101.60 %	CUMPLE
	3	214.92		28	102.34 %	CUMPLE
	4	213.18	212.35	28	101.51 %	CUMPLE
	5	210.78		28	100.37 %	CUMPLE
	6	213.08		28	101.47 %	CUMPLE
	7	219.71	212.52	28	104.62 %	CUMPLE
	8	212.61		28	101.24 %	CUMPLE
	9	205.25		28	97.74 %	NO CUMPLE
	10	229.71	217.92	28	109.39 %	CUMPLE
	11	208.94		28	99.50 %	NO CUMPLE
	12	215.12		28	102.44 %	CUMPLE
	13	237.56	228.36	28	113.12 %	CUMPLE
	14	217.16		28	103.41 %	CUMPLE
	15	230.35		28	109.69 %	CUMPLE
	16	226.89		28	108.04 %	CUMPLE
2	17	229.68	227.60	28	109.37 %	CUMPLE
	18	217.34		28	103.50 %	CUMPLE
	19	235.78		28	112.28 %	CUMPLE
	20	218.45	223.74	28	104.02 %	CUMPLE
	21	219.78		28	104.66 %	CUMPLE
	22	232.98		28	110.94 %	CUMPLE
	23	227.56	223.53	28	108.36 %	CUMPLE
	24	223.46		28	106.41 %	CUMPLE
	25	219.57		28	104.56 %	CUMPLE
	26	220.06	223.06	28	104.79 %	CUMPLE
	27	228.43		28	108.78 %	CUMPLE
	28	220.69		28	105.09 %	CUMPLE
	29	221.34	225.93	28	105.40 %	CUMPLE
	30	227.36		28	108.27 %	CUMPLE
	31	229.09		28	109.09 %	CUMPLE
	32	227.67		28	108.41 %	CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318-02 se puede observar que el diseño de estas mezclas cumple el primer requisito; según el segundo requisito establecido en el código es satisfactorio pues ninguna mezcla es menor que 175 kg/cm².

De la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 221.44 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 8.09 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$C. V. = 3.65 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$Md = 219.92 \quad (\text{mediana})$$

Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del ACI, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

CALCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA fcr.

$$fcr = \bar{f}_c + t s$$

$$fcr = 210 + 1.43(8.09) = 221.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$fcr = \bar{f}_c + t s - 35$$

$$fcr = 210 + 2.33(8.09) - 35 = 186.57 \text{ kg/cm}^2$$

Se toma el valor mayor de estas ecuaciones 221.57 kg/cm²

$$F_{cr} = f_c + t \times S$$

$$221.44 = 210 + t(8.09)$$

$$t(8.09) = 1.41$$

$$t = 1.41$$

Para $t = 1.41$ se tiene que el porcentaje de muestras debajo de f_c es de un 7%

El Reglamento de las Construcciones ACI 318-02 solo permite el 9.0 % de resultados por debajo de f_c y la norma ASTM C 94 -74 permite el 10.0 %. Ningún resultado cae por debajo de $f_c -35$ (175 Kg/cm²) ya que el menor es 205.25 Kg/cm².

La mezcla se acepta.

5.2.2 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO EL AGREGADO VITREO.

Como se especifico en el capítulo 1 de este trabajo, la distribución de las mezclas de concreto usando el agregado vítreo, son similares a los usados para las mezclas que utilizan el agregado pétreo, cambiando solo en el sentido de que se añade un lote más, mismo que servirá para determinar la curva resistencia edad de las mezclas que usan el agregado vítreo.

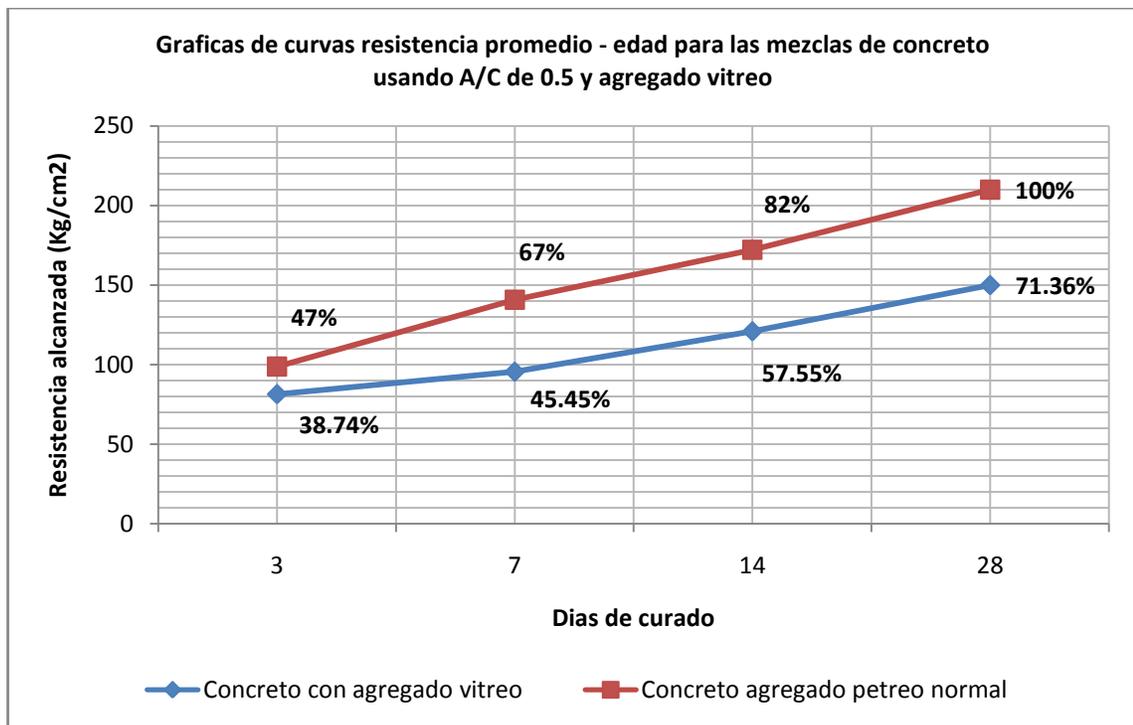
Para determinar las curvas de resistencia edad se usan un total de cuatro pruebas de resistencia para cada día a saber, los cuales son: 3, 7, 14 y 28 días. Estas graficas se comparan con las graficas teóricas que se conocen acerca del concreto normal para establecer diferencias entre sí.

Los criterios de aceptación de las otras mezclas seguirán los mismos patrones que siguieron las mezclas con agregado pétreo.

5.2.2.1 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.5 Y AGREGADO VITREO A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS.

5.2.2.1.1 RESISTENCIAS ALCANZADAS A LOS 3, 7, 14 Y 28 DÍAS.

LOTE	PRUEBA	f'c ALCANZADA (Kg/cm2)	PROMEDIO CUATRO CILINDROS (kg/cm2)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA
1	1	81.19	81.35	3	38.66%
	2	80.07		3	38.13%
	3	82.23		3	39.16%
	4	81.92		3	39.01%
	1	95.17	95.44	7	45.32%
	2	95.68		7	45.56%
	3	95.35		7	45.40%
	4	95.57		7	45.51%
	1	118.52	120.86	14	56.44%
	2	123.52		14	58.82%
	3	122.75		14	58.45%
	4	118.63		14	56.49%
	1	145.16	149.87	28	69.12%
	2	157.03		28	74.77%
	3	152.90		28	72.81%
	4	144.37		28	68.75%



En el grafico se puede observar las diferencias medidas en porcentaje sobre el mismo límite máximo (210 kg/cm²). La grafica roja es una tendencia normalmente aceptada de resistencia edad de un concreto de peso normal y usando agregado pétreo.

Se puede observar que, conforme aumentan en el tiempo es notablemente visible que las mezclas con agregado pétreo poseen una ventaja significativa sobre las mezclas con agregado vítreo; alrededor de un 10% a los 3 días de curado, aumentando luego alrededor de un 20% en el intervalo comprendido de los 7 a 14 días y llegando finalmente a un 30% a los 28 días.

La resistencia máxima alcanzada por las mezclas vítreas ronda alrededor de unos 150 kg/cm² (aproximadamente un 71% de la resistencia de 210).

5.2.2.1.2 RESISTENCIAS ALCANZADAS A LOS 28 DIAS.

LOTE	PRUEBA	f _c ALCANZADA (Kg/cm ²)	PROMEDIO DE TRES CILINDROS (kg/cm ²)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	147.49	147.87	28	70.23 %	NO CUMPLE
	2	143.62		28	68.39 %	NO CUMPLE
	3	152.49		28	72.61 %	NO CUMPLE
	4	157.08	150.14	28	74.80 %	NO CUMPLE
	5	152.18		28	72.47 %	NO CUMPLE
	6	141.17		28	67.22 %	NO CUMPLE
	7	149.43	151.24	28	71.16 %	NO CUMPLE
	8	153.10		28	72.91 %	NO CUMPLE
	9	151.18		28	71.99 %	NO CUMPLE
	10	144.04	146.72	28	68.59 %	NO CUMPLE
	11	143.28		28	68.23 %	NO CUMPLE
	12	152.83		28	72.78 %	NO CUMPLE
	13	157.03	149.31	28	74.77 %	NO CUMPLE
	14	147.95		28	70.45 %	NO CUMPLE
	15	142.96		28	68.08 %	NO CUMPLE
	16	146.27		28	69.65 %	NO CUMPLE
2	17	151.38	150.22	28	72.08 %	NO CUMPLE
	18	150.11		28	71.48 %	NO CUMPLE
	19	149.17		28	71.03 %	NO CUMPLE
	20	141.38	148.02	28	67.33 %	NO CUMPLE
	21	154.63		28	73.63 %	NO CUMPLE
	22	148.03		28	70.49 %	NO CUMPLE
	23	147.94	153.44	28	70.45 %	NO CUMPLE
	24	157.01		28	74.77 %	NO CUMPLE
	25	155.38		28	73.99 %	NO CUMPLE
	26	148.04	149.69	28	70.49 %	NO CUMPLE
	27	144.03		28	68.58 %	NO CUMPLE
	28	157.00		28	74.76 %	NO CUMPLE
	29	146.75	144.43	28	69.88 %	NO CUMPLE
	30	142.07		28	67.65 %	NO CUMPLE
	31	144.45		28	68.79 %	NO CUMPLE
	32	145.21		28	69.15 %	NO CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318-02 se puede observar que el diseño de estas mezclas no cumple el primer requisito pues todos los promedio de cuatro cilindros son menores que el f_c esperado, y con respecto al segundo, ninguna de las pruebas individuales es mayor a 175 kg/cm^2 . Por lo tanto la mezcla es deficiente.

De la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 148.90 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 4.97 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$\text{C. V.} = 3.34 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$\text{Md} = 148.04 \quad (\text{mediana})$$

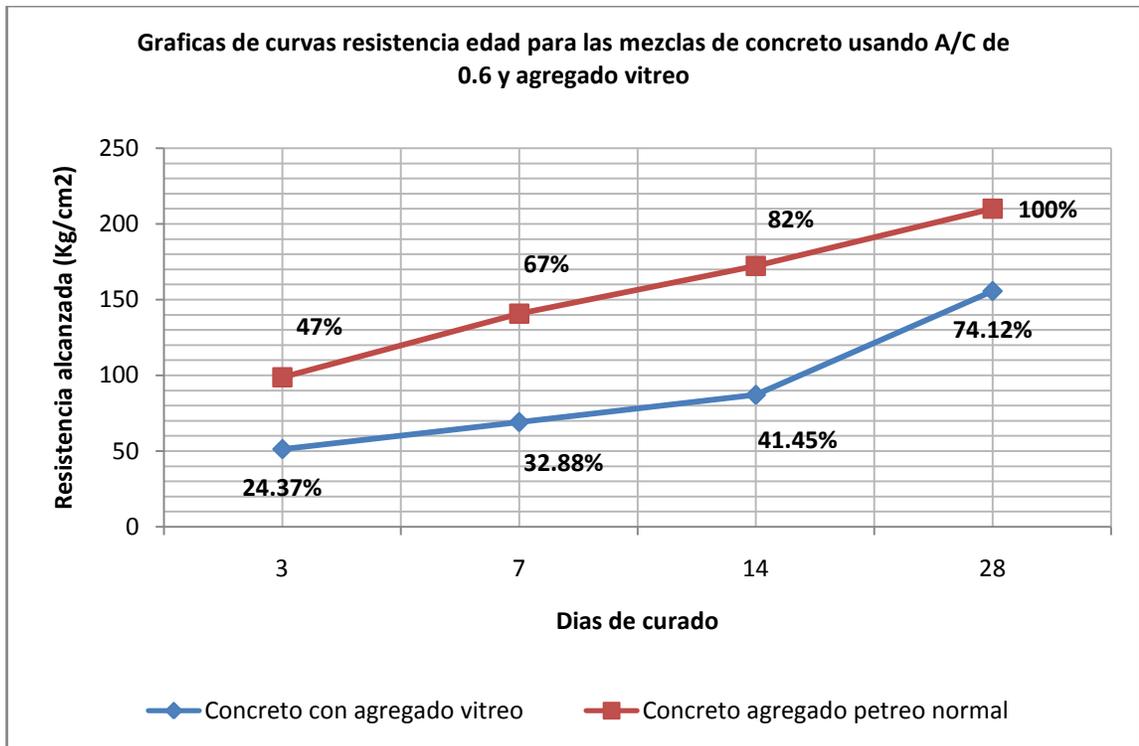
Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del ACI, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

Como no se cumplen los criterios mínimos del ACI 318-02 y puesto que todas las muestras están por debajo del f_c es evidente que para el tercer criterio de aplicación toda la mezcla es considerada errónea y por lo tanto se omite los detalles de la misma.

5.2.2.2 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.6 Y AGREGADO VITREO.

5.2.2.2.1 RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS.

LOTE	PRUEBA	f ^c ALCANZADA (Kg/cm ²)	PROMEDIO CUATRO CILINDROS (kg/cm ²)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA
1	1	49.28	51.18	3	23.47%
	2	54.23		3	25.82%
	3	52.98		3	25.23%
	4	48.23		3	22.97%
	1	69.67	69.05	7	33.18%
	2	71.15		7	33.88%
	3	68.89		7	32.80%
	4	66.5		7	31.67%
	1	89.25	87.04	14	42.50%
	2	88.5		14	42.14%
	3	85.69		14	40.80%
	4	84.73		14	40.35%
	1	150.45	155.66	28	71.64%
	2	156.36		28	74.46%
	3	165.00		28	78.57%
	4	150.83		28	71.82%



Como en el caso de la anterior grafica, podemos observar que en las curvas de resistencia edad el concreto con agregado pétreo posee una notable ventaja sobre las mezclas vítreas. En esta grafica, para la edad de 3 días la diferencia entre los dos concreto es de 22.63%, se aumenta a los 7 días a 34%, a los 14 a 40% para caer finalmente a 30% al final del tiempo de curado.

El porcentaje máximo alcanzado de la mezcla vítrea sobre la base de una resistencia de 210 kg/cm² es de unos 74% osea, unos 155 kg/cm²

5.2.2.2 RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 28 DIAS

LOTE	PRUEBA	f'c ALCANZADA (Kg/cm2)	PROMEDIO TRES CILINDROS (kg/cm2)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	143.08		28	68.13 %	NO CUMPLE
	2	151.89		28	72.33 %	NO CUMPLE
	3	145.78	146.92	28	69.42 %	NO CUMPLE
	4	155.93		28	74.25 %	NO CUMPLE
	5	147.38		28	70.18 %	NO CUMPLE
	6	158.90	154.07	28	75.67 %	NO CUMPLE
	7	142.31		28	67.77 %	NO CUMPLE
	8	140.04		28	66.69 %	NO CUMPLE
	9	148.14	143.50	28	70.54 %	NO CUMPLE
	10	149.02		28	70.96 %	NO CUMPLE
	11	140.10		28	66.71 %	NO CUMPLE
	12	141.36	143.49	28	67.31 %	NO CUMPLE
	13	151.29		28	72.04 %	NO CUMPLE
	14	155.00		28	73.81 %	NO CUMPLE
	15	150.04	152.11	28	71.45 %	NO CUMPLE
	16	149.32		28	71.10 %	NO CUMPLE
2	17	144.16		28	68.65 %	NO CUMPLE
	18	145.11		28	69.10 %	NO CUMPLE
	19	142.95	144.07	28	68.07 %	NO CUMPLE
	20	157.94		28	75.21 %	NO CUMPLE
	21	147.39		28	70.18 %	NO CUMPLE
	22	156.78	154.04	28	74.66 %	NO CUMPLE
	23	157.43		28	74.97 %	NO CUMPLE
	24	149.49		28	71.19 %	NO CUMPLE
	25	148.24	151.72	28	70.59 %	NO CUMPLE
	26	156.64		28	74.59 %	NO CUMPLE
	27	158.34		28	75.40 %	NO CUMPLE
	28	151.15	155.38	28	71.98 %	NO CUMPLE
	29	149.99		28	71.42 %	NO CUMPLE
	30	143.21		28	68.19 %	NO CUMPLE
	31	150.01	147.74	28	71.43 %	NO CUMPLE
	32	156.92		28	74.73 %	NO CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318-02 se puede observar que el diseño de estas mezclas no cumple –como en los casos anterior- ni el primer requisito ni el segundo pues ninguna de las pruebas es mayor a 175 kg/cm².

De la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 149.54 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 5.78 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$C. V. = 3.87 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$Md = 149.41 \quad (\text{mediana})$$

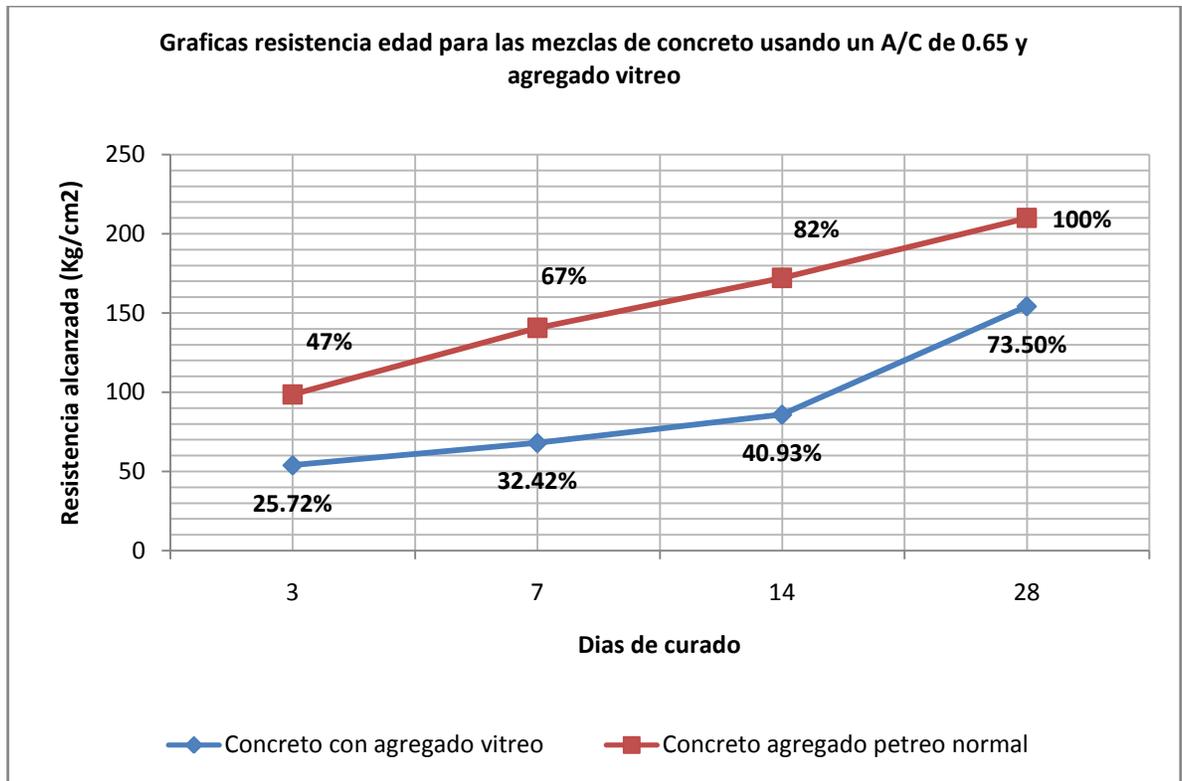
Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del ACI, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

Se omite la revisión del tercer criterio pues es evidente que la totalidad de las mezclas están por debajo de f_c . ante los criterios arriba mencionados las mezclas son defectuosas.

5.2.2.3 RESISTENCIA ALCANZADA EN LA PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS USANDO UN A/C DE 0.65 Y AGREGADO VITREO.

5.2.2.3.1 RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 3, 7, 14 Y 28 DIAS.

LOTE	PRUEBA	f _c ALCANZADA (Kg/cm ²)	PROMEDIO CUATRO CILINDROS (kg/cm ²)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA
1	1	50.79	54.01	3	24.19%
	2	55.59		3	26.47%
	3	54.67		3	26.03%
	4	54.98		3	26.18%
	1	68.78	68.09	7	32.75%
	2	70.12		7	33.39%
	3	67.45		7	32.12%
	4	65.99		7	31.42%
	1	89.75	85.95	14	42.74%
	2	87.49		14	41.66%
	3	82.56		14	39.31%
	4	83.98		14	39.99%
	1	146.79	154.36	28	69.90%
	2	155.55		28	74.07%
	3	165.34		28	78.73%
	4	149.75		28	71.31%



En la grafica la diferencia entre las distintas mezclas a los tres días de curado es de 20%; a los 7 días las misma es de 35%; a los 14 de 40% y de aproximadamente 30% al final del tiempo de curado.

Al final de las mismas, se observa que las mezclas vítreas alcanzo tan solo un 73% del porcentaje sobre la base de 210, o sea unos 153 kg/cm²

5.2.2.3.2 RESISTENCIA ALCANZADA A LOS 28 DIAS

LOTE	PRUEBA	f'c ALCANZADA (Kg/cm2)	PROMEDIO TRES CILINDROS (kg/cm2)	DIAS DE CURADO	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA	OBSERVACION
1	1	146.78		28	69.89 %	NO CUMPLE
	2	155.55		28	74.07 %	NO CUMPLE
	3	165.34	155.89	28	78.73 %	NO CUMPLE
	4	142.80		28	68.00 %	NO CUMPLE
	5	139.54		28	66.45 %	NO CUMPLE
	6	155.55	145.96	28	74.07 %	NO CUMPLE
	7	140.41		28	66.86 %	NO CUMPLE
	8	150.27		28	71.56 %	NO CUMPLE
	9	152.01	147.56	28	72.39 %	NO CUMPLE
	10	158.31		28	75.38 %	NO CUMPLE
	11	153.05		28	72.88 %	NO CUMPLE
	12	147.50	152.95	28	70.24 %	NO CUMPLE
	13	148.83		28	70.87 %	NO CUMPLE
	14	150.06		28	71.45 %	NO CUMPLE
	15	151.60	150.16	28	72.19 %	NO CUMPLE
	16	150.48		28	71.66 %	NO CUMPLE
2	17	153.10		28	72.90 %	NO CUMPLE
	18	149.02		28	70.96 %	NO CUMPLE
	19	143.21	148.44	28	68.20 %	NO CUMPLE
	20	150.60		28	71.72 %	NO CUMPLE
	21	143.28		28	68.23 %	NO CUMPLE
	22	145.20	146.36	28	69.14 %	NO CUMPLE
	23	148.18		28	70.56 %	NO CUMPLE
	24	159.99		28	76.19 %	NO CUMPLE
	25	144.04	150.74	28	68.59 %	NO CUMPLE
	26	148.02		28	70.48 %	NO CUMPLE
	27	153.31		28	73.01 %	NO CUMPLE
	28	150.04	150.46	28	71.45 %	NO CUMPLE
	29	155.09		28	73.85 %	NO CUMPLE
	30	157.84		28	75.16 %	NO CUMPLE
	31	159.06	157.33	28	75.74 %	NO CUMPLE
	32	163.93		28	78.06 %	NO CUMPLE

Aplicando a los resultados anteriores los dos requisitos que establece el ACI 318-02 se puede observar que el diseño de estas mezclas no cumple el primer requisito ni el segundo pues ninguna de las pruebas es mayor a 175 kg/cm².

De la tabla anterior se desprenden los siguientes parámetros estadísticos básicos.

$$\bar{X} = 151.00 \quad (\text{media aritmética})$$

$$\sigma = 6.38 \quad (\text{desviación estándar})$$

$$C. V. = 4.23 \quad (\text{coeficiente de variación})$$

$$Md = 150.38 \quad (\text{mediana})$$

Según estos últimos parámetros, y lo que especifica el apartado 5.1.2. y la tabla 3 del ACI, para pruebas de laboratorio, con una desviación estándar menor que 15 el control de las mezclas de concreto fue excelente. No ocurre lo mismo si se toma el parámetro de usar el coeficiente de variabilidad; en tal caso podemos observar que la tabla arroja un control pobre para un coeficiente de variabilidad mayor que 2 para pruebas de laboratorio.

Se omiten los detalles del tercer criterio por las razones explicadas en los apartados anteriores a este.

5.3 ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO USANDO EL VIDRIO RECICLADO COMO AGREGADO.

5.3.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESION DE CILINDROS.

A raíz del análisis de las pruebas de compresión de cilindro efectuadas a las mezclas de concreto usando vidrio reciclado como agregado se observa que la hipótesis inicial de este trabajo es falsa.

5.3.1.1 INTERPRETACIONES QUE SE INFIEREN DEL PROCESO.

El promedio de los porcentajes alcanzados por las mezclas de concreto usando el material vítreo como agregado con respecto al material pétreo es de aproximadamente un 70% menos; esto significa que si tomamos como parámetro una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², la resistencia máxima que podemos esperar, en las mismas condiciones envueltas, es alrededor de unos 150 kg/cm² como máximo. Hay una notable diferencia de 60 kg/cm² que se mantiene constante al final de todas las curvas resistencia edad que investigo este trabajo.

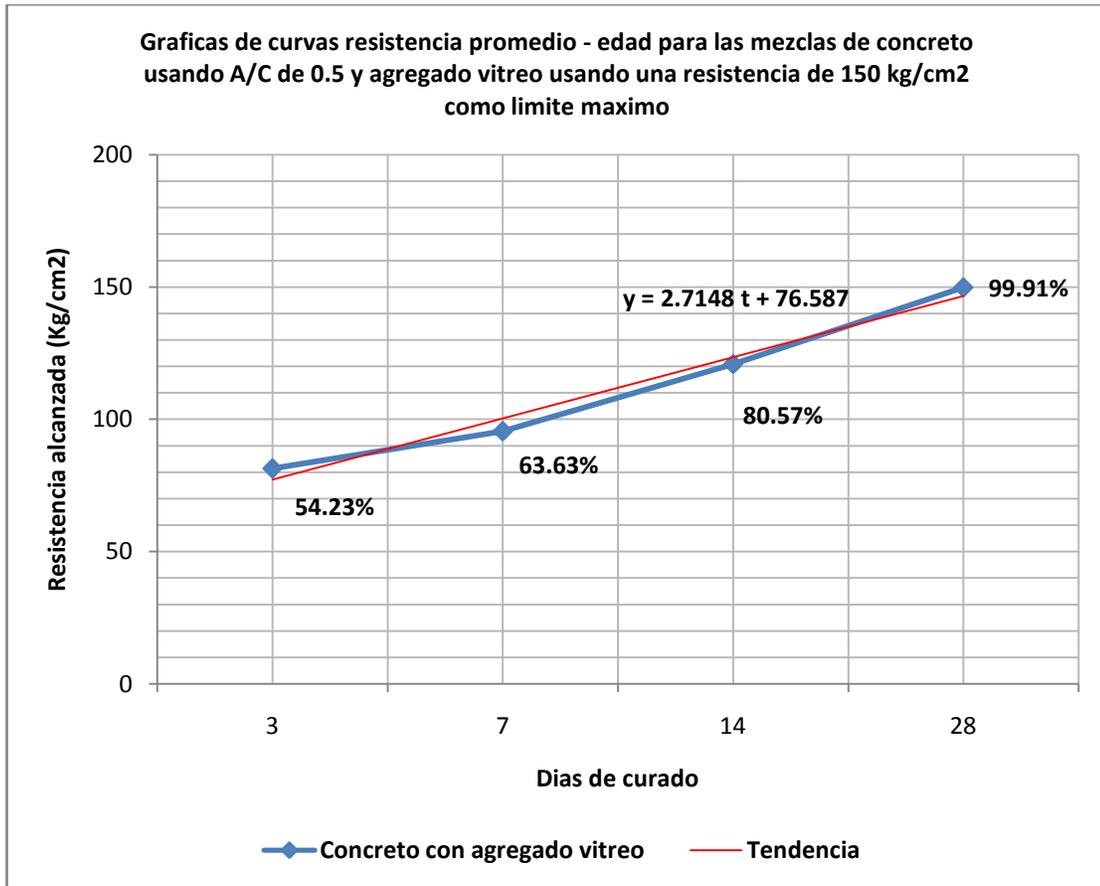
Si la constante se mantiene en las tres relaciones A/C de prueba, una manera en cómo podría dosificarse estas mezclas a futuro, en iguales condiciones, y usando los mismos parámetros del ACI 211.1-91 es restarle al $f'c$ 60 kg/cm²

$$f'c \text{ vítreo} = f'c - 60 \text{ kg/cm}^2$$

Como una relación inicial puede ser de utilidad a futuros investigadores, sean estos de la rama de ingeniería o arquitectura que deseen seguir sobre la misma línea de investigación, o en el diseño de elementos no estructurales de concreto usando el vidrio reciclado como agregado.

5.3.1.2 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS SOBRE LA BASE ALCANZADA POR LAS MEZCLAS USANDO EL AGREGADO VITREO

Si replanteamos los resultados de las curvas resistencias edad sobre la base alcanzada por las mismas mezclas vítreas (es decir 150 kg/cm²) obtendremos una idea de cómo se comportan dichas mezclas en relación a la resistencia que alcanzan.



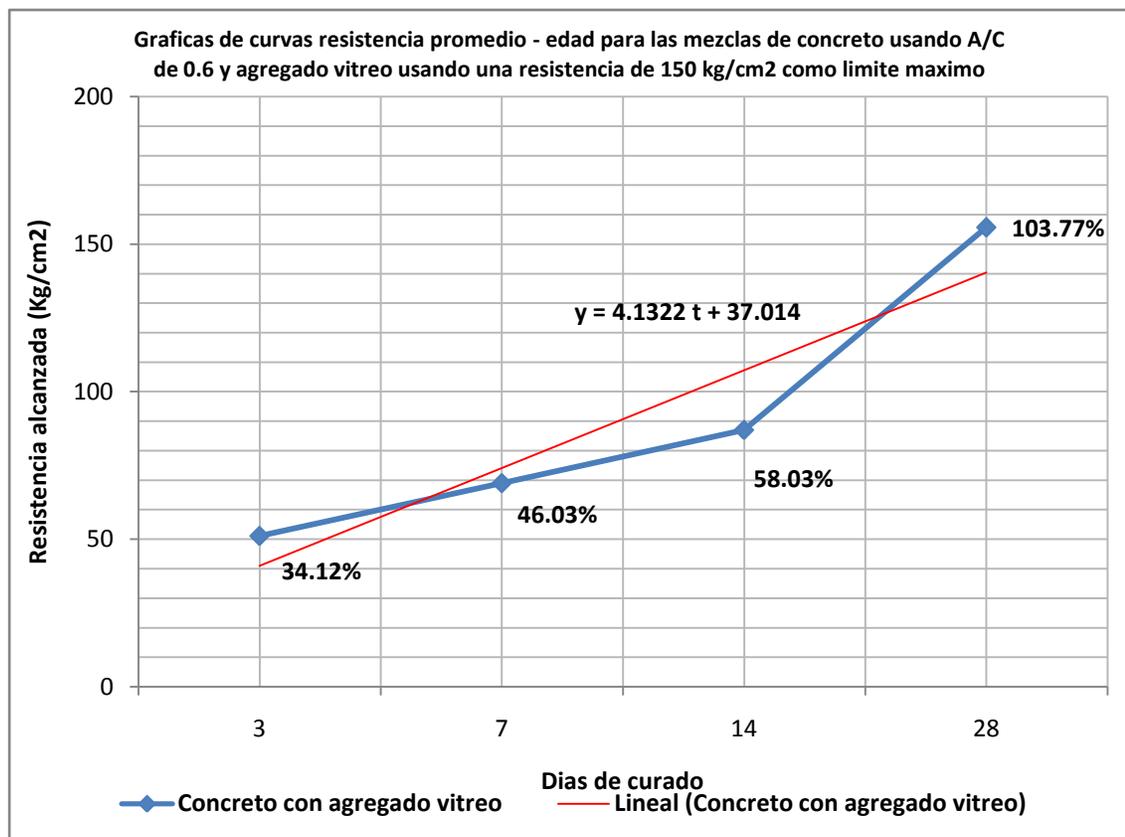
En la grafica se puede observar que sobre la base del porcentaje máximo alcanzado por las mezclas, el porcentaje de resistencia alcanzado en los distintos días de experimentación es casi similar al de un concreto normal usando agregado pétreo (de unos 47, 67, 82 y 100% a los 3, 7, 14 y 28 días respectivamente).

La línea roja representa la tendencia (de aumento) de los resultados de la mezcla usando agregado vítreo con una A/C de 0.5.

La misma está controlada por una relación de:

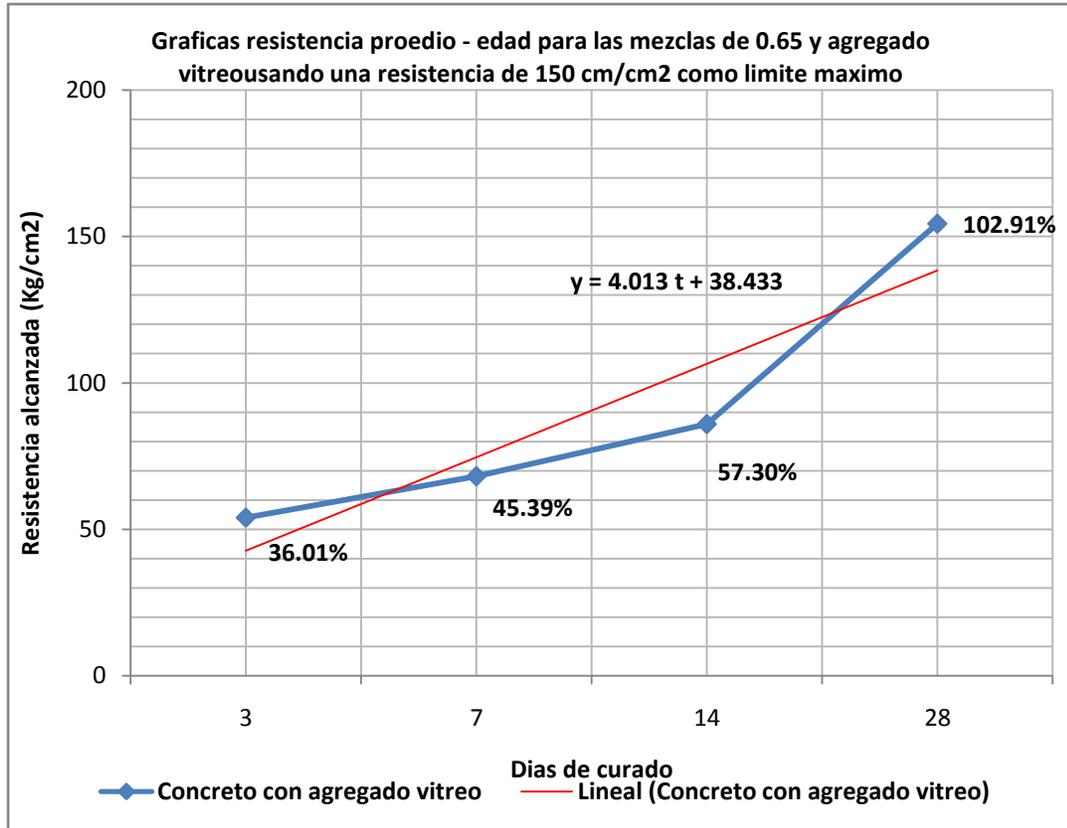
$$f'c \text{ vítreo} = 2.7148 t + 76.587$$

Donde t es el número de días de curado en que ganara resistencia de mantenerse la tendencia y tomando como límite máximo un t de 28 días.



En el análisis de la presente grafica se observa que para la relación A/C de 0.6, el porcentaje de resistencia es menor que el del concreto normal usando el agregado pétreo y que decae notablemente en el intervalo que va de los 7 a los 14 días. La tendencia a su vez está gobernada por la relación:

$$F'c \text{ vítreo} = 4.1322 t + 37.014$$



Haciendo los mismos pasos para la A/C de 0.65 observamos que los porcentajes de resistencia ganada por días es similar y que la tendencia está gobernada por la relación:

$$F'c \text{ vítreo} = 4.013 t + 38.433$$

Comparando las dos últimas ecuaciones que rigen las tendencias de las mezclas de A/C de 0.6 y 0.65 se observara que no difieren en gran medida, esto último podría deberse a que las relaciones A/C son mas menos cercanas.

De todo lo anterior podríamos decir que para una relación A/C de 0,5 la tendencia de la resistencia ganada por la edad se comporta de una manera lineal. Y que para las mezclas alrededor de un A/C de 0.6 a 0.65 esa tendencia

caerá en el intervalo que va de los 7 a los 14 días, recuperándose al final de los 28.

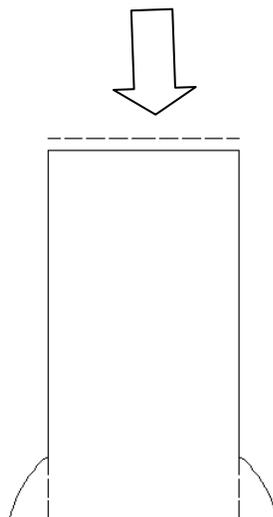
5.3.2 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS DISTINTAS FORMAS DE RUPTURA DE LOS CILINDROS.

5.3.2.1 RUPTURAS DE LOS CILINDROS USANDO AGREGADOS PETREOS.

Según lo que establece la norma ASTM C 39-01 el tipo de falla que se dio mayormente en los especímenes de concreto usando el agregado pétreo es del tipo Cortante cónico. A este tipo corresponde una probeta que se encuentra más dura conforme se llega al corazón de la misma, o que sus lados externos son débiles en comparación con dicho corazón.

5.3.2.2 RUPTURAS DE LOS CILINDROS USANDO AGREGADO VITREO.

El tipo de ruptura presentado mayormente en estos especímenes se presenta de una forma que se denomina “pata de elefante” por la similitud con las patas de dicho animal. Esta falla se caracteriza por una deformación del volumen inicial en el tercio inferior de la probeta antes de la ruptura. Lo anterior se debe a que las mezclas con agregado vítreo presentaban la particularidad de poseer una considerable plasticidad; la misma se hace constar en las graficas de fuerza aplicada por la máquina de compresión con que se hicieron dichas pruebas. Este tipo de falla no aparece en la mencionada norma ASTM C 39-01.



Se podría considerar que ante la aplicación de una carga el aplastamiento que sufre la probeta tiende a deformarse antes de fallar, esto se refleja en las prominencias que salen más allá de los bordes originales de la probeta. De todo lo anterior se podría concluir que inicialmente nos hallamos ante un concreto que se comporta de una manera dúctil. Sin embargo el origen de esa ductilidad se encuentra en el hecho de que la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado vítreo grueso no es lo suficientemente fuerte como en los casos de mezclas que usan material pétreo.

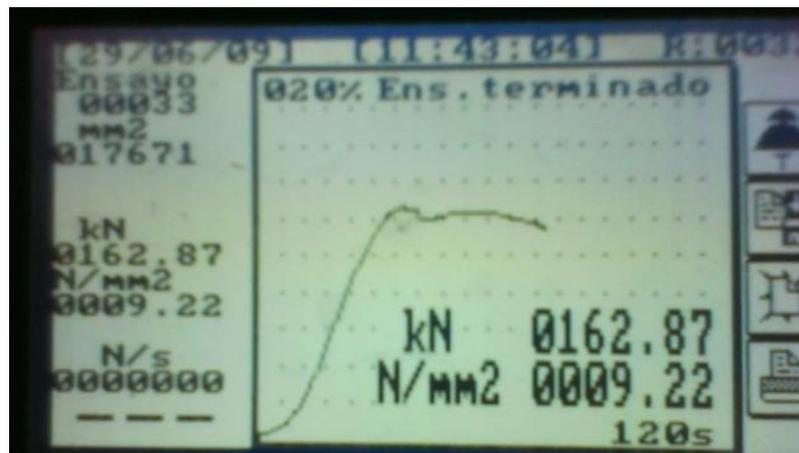


Imagen 5.3.2.2-a. Imagen que muestra la grafica de deformación de una prueba de compresión de un cilindro usando el vidrio como agregado. En ella se puede observar cómo se extiende más allá del pico de esfuerzo máximo antes de fallar.

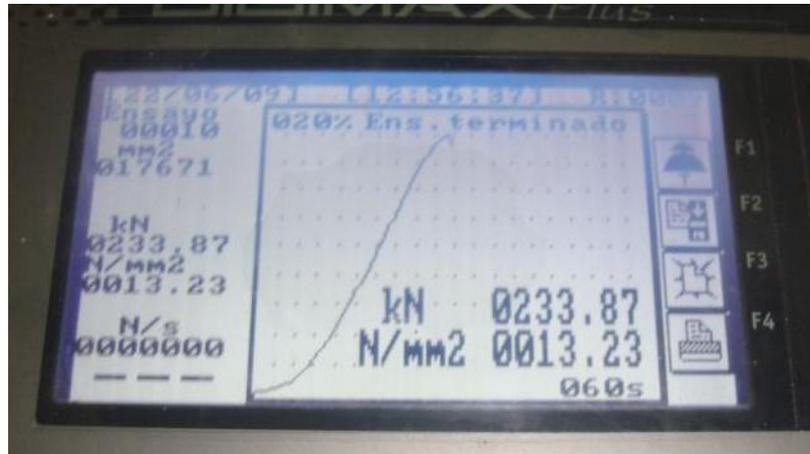


Imagen 5.3.2.2-b. Muestra la grafica de esfuerzo de una probeta sometida a la prueba de compresión de cilindros de concreto usando agregado pétreo, en la que se observa el carácter frágil del material.

En las siguientes páginas se muestran detalles de las rupturas de las diferentes mezclas.

**5.4 IMÁGENES RELACIONADAS A LAS RUPTURAS
EXPERIMENTADAS POR LAS PROBETAS DE
CONCRETO USANDO MATERIAL PETREO.**



**5.5 IMÁGENES RELACIONADAS A LAS RUPTURAS
EXPERIMENTADAS POR LAS PROBETAS DE
CONCRETO USANDO MATERIAL VITREO.**



CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.3 CONCLUSIONES

- ✓ La hipótesis 1, bajo las condiciones en que se desarrollo este trabajo, no se verifica para los concretos dosificados de acuerdo a la norma ACI. 211.1-91.
- ✓ Con respeto a la hipótesis 2 de este trabajo se verifica para las distintas mezclas sobre todo si se toma en cuenta el margen que establece el código ACI 117-06-2.5.1. y respetando la característica del vidrio de no absorber agua.
- ✓ La hipótesis 3 que trata sobre la resistencia de mortero se verifica así mismo si se toma lo que especifica la norma ASTM C 109-02.
- ✓ La hipótesis 4 de este trabajo que trata sobre la fluidez de mortero no se cumple.
- ✓ Se puede afirmar inicialmente que, dosificando para un concreto normal con agregado pétreo descrito en el ACI 211.1-91, la resistencia alcanzada por las mezclas que contienen vidrio reciclado tendrán un 30% menos en su resistencia promedio que las mezclas con pétreo.
- ✓ La forma correcta en cómo deben dosificarse las mezclas para un concreto que utiliza el agregado vítreo escapa de los alcances planteados para este trabajo de investigación. Para ello se

necesitan líneas de investigación específicas en esta área y que se toma a bien dejarlas señaladas en el siguiente apartado.

- ✓ Que en lo que a mortero se refiere, la clave está en el porcentaje de volumen que deben ocupar los agregados vítreos para que se supere o iguale la resistencia de un mortero tipo S normal. Se señala también que debido a la característica de no absorber el agua, el agua de diseño que especifica la norma ACI 211.1-91 puede ser más que suficiente o la causa de que las resistencias esperada no se logren.
- ✓ En lo que se refiere a la optimización del agua de diseño, las mezclas vítreas en la práctica demostraron ser más eficientes, ya que con el mínimo prescrito y a veces con menos se puede lograr la fluidez deseada.
- ✓ En lo que al aspecto de utilización, la elaboración de estas mezclas tiene dos grandes obstáculos a vencer: la consecución de grandes cantidades de vidrio para una obra en específico y el tiempo en que se tarde en reducirlas a la medida de las especificaciones.
- ✓ El uso de estas mezclas es arquitectónico, preferentemente decoración.

6.4 RECOMENDACIONES

Como líneas de investigación futuras en esta área se recomienda:

- ✓ Averiguar la relación A/C idónea para las mezclas de concreto y mortero usando vidrio reciclado como agregado.
- ✓ Determinar si al usar un porcentaje de más del 60% del volumen de las mezclas se pueden lograr morteros más resistentes debido a la alta dureza del vidrio.
- ✓ Lograr un lineamiento o metodología que nos aleje del ACI 211.1-91 y que sea propia para este tipo de mezclas.
- ✓ Determinar si usando siempre como base el ACI 211.1-91 y tomando en cuenta el resultado de que el concreto vítreo es alrededor de un 30% menos que el pétreo, es posible hacer llegar las mezclas a una resistencia igual o superior a 210 kg/cm².
- ✓ Determinar cómo influye en la resistencia de los morteros y concreto vítreos el hecho de hacer llegar estos agregados a la graduación ideal propuesta por las distintas normas.
- ✓ Determinar la graduación ideal para el agregado vítreo para las mezclas de mortero y concreto.
- ✓ Averiguar la capacidad térmica de este tipo de concreto y mortero.
- ✓ Averiguar si la resistencia y fluidez de los morteros se ve afectada al usar la cal hidratada como segundo cementante.

- ✓ Averiguar qué ocurre si se mezcla algún porcentaje de vidrio conjuntamente con el agregado pétreo para elaborar concretos y morteros.
- ✓ Determinar la resistencia al intemperismo de este tipo de concreto.

Como recomendaciones al proceso se recomienda:

- ✓ Para futuras investigaciones encontrar formas más eficientes de triturado de vidrio, ya que la dureza de este material se hace sentir a la hora de reducirlo por métodos manuales.
- ✓ Para mejores resultados se recurra a mezclados mecánicos.
- ✓ Se recomienda durante todo el proceso el uso de gafas, guantes y mascarillas que no dejen pasar el polvo fino que se produce de la reducción del vidrio. El vidrio es un material muy peligroso de manipular.
- ✓ Durante el proceso de reducción de vidrio y mezclado, no se permitan las visitas a personas ajenas al proceso a las instalaciones del laboratorio o al lugar donde se triture el material y que el mismo sea un lugar cerrado para seguridad a las personas que caminan por los alrededores.
- ✓ No se debe aventurar a depositar el agua de diseño aunque sea mínima a las mezclas con material vítreo, ya que por la condición de no absorber agua se puede alterar significativamente la fluidez de estas mezclas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C-270-02
- ACI 211.1-91
- Neville, A.M. y Brooks, J.J. *Tecnología del Concreto*. Editorial Trillas. México D.F. 1998.
- Rivas López, Enrique. *Diseño de Mezclas*. Lima – Perú. 1996.
- ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO, Fritz Leonhardt, TOMO I.
- Gonzales Cuevas y Oscar M. (1989): Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado, Editorial Noriega Editores, México, tercera Edición.
- G. Navy, Edward (1990): Concreto Reforzado, un enfoque básico, Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México, Primera Edición.
- H. Nilson Arthur and Winter George (2000): Design of Concrete Structures, Printed by Mc Graw-Hill, USA.
- Notas de las clases de ingeniería civil (1995): UNAM, México.
- Parker Harry (1986): Diseño Simplificado de Concreto Reforzado, Editorial Noriega Editores, México.
- Portland Cement Association (1995): Edited by S.K. Gosh and Basile G. Rabbat, USA, First Edition.
- <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/>

- Cousins, M., *20th Century Glass*, Chartwell Books, Nueva Jersey, 1989.
- Morey, G. W., *The Properties of Glass*, Reinhold Publishing, Nueva York, 1954.
- Wiegand, E., *Técnicas del trabajo en vidrio*, Progensa, España, 1988.
- *Enciclopedia metódica Larousse*, Larousse, 1978.