



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

**Facultad de Ingeniería
Coordinación de Investigación y Posgrado**



**“Análisis de Mezclas de Concreto Hidráulico a Base de
PEAD Reciclado como Agregado Grueso para Losas de
Bajo Tránsito Vehicular.”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción

PRESENTA:
JAVIER ENRIQUE JIMÉNEZ FERNÁNDEZ C101052

DIRECTOR DE TESIS
DR. ALEXANDER LÓPEZ GONZÁLEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; DICIEMBRE 2022



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
28 de noviembre del 2022
Oficio No. F.I.01.2009/2022

C. JAVIER ENRIQUE JIMÉNEZ FERNÁNDEZ
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“ANÁLISIS DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SENTIR”



DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGOS
ENCARGADO DE DIRECCIÓN



Ccp. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería. UNACH.
Archivo/minutario
JAFG/DEC/tcpg*



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Javier Enrique Jiménez Fernández,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Análisis de Mezclas de
concreto hidráulico a base de PEAD reciclado como
agregado grueso para losas de bajo tránsito vehicular,"
presentada y aprobada en el año 20 22 como requisito para obtener el título o grado
de Maestro en Ingeniería con formación en construcción autorizo licencia
a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH),
para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos
para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la
divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se
produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 28 días del mes de Noviembre del año 20 22.

Javier Enrique Jiménez Fernández

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

1 Agradecimientos

A dios por la vida y experiencias que me ha hecho vivir, pero sobre todo; por la familia que me dio y a las personas que ha puesto en mi camino.

A mis abuelos por su apoyo y comprensión que me han brindado durante todo este tiempo de preparación y desarrollo profesional, pues han sido mi gran motivo de superación y lucha en la vida.

A mis padres porque me han heredado el tesoro más valioso que pudiera darse a un hijo: amor y educación, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida, me han formado, educado y quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertido en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni con las riquezas más grandes del mundo.

A la universidad por permitirme formar parte de ella, pues ha sido como mi segundo hogar y gracias a ello he podido formarme plenamente como una mejor persona en la vida cotidiana y profesional.

A los profesores que imparten las asignaturas de la maestría en ingeniería por brindarme sus experiencias y conocimientos, gracias a ellos he podido ampliar mis horizontes en el ámbito personal y profesional.

A mi director de tesis Dr. Alexander López González por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

2 índice

1	Agradecimientos	2
2	índice	3
3	Listado de figuras	6
4	Listado de tablas.....	7
5	Resumen.....	9
6	Abstract	10
7	Capitulo I. planteamiento del problema de investigación	11
7.1	Antecedentes	11
7.1.1	Introducción	11
7.1.2	Justificación	17
7.1.3	Importancia	18
7.1.4	Objetivos	19
7.1.4.1	Objetivo general.....	19
7.1.4.2	Objetivos específicos.....	19
8	Capitulo II. Marco Teórico	20
8.1	Concreto Hidráulico.....	20
8.1.1	Definición	20
8.1.2	Clasificación.....	20
8.1.2.1	De acuerdo por los agregados que lo componen	20
8.1.2.2	De acuerdo con su función.....	21
8.1.2.3	De acuerdo con su forma de elaboración	21
8.1.3	Requisitos de calidad para el concreto hidráulico	22
8.1.3.1	Revenimiento	22
8.1.3.2	Temperatura.....	23
8.1.3.3	Resistencia.....	24
8.1.3.4	Volumen	25
8.1.3.5	Requisitos de mezclado.....	26
8.1.4	Componentes para el concreto hidráulico	28
8.1.4.1	Cemento	28

8.1.4.2	Agregados pétreos	36
8.1.4.3	Agua.....	59
8.1.4.4	Aditivos.....	61
8.2	Plástico	72
8.2.1	Definición	72
8.2.2	Clasificación.....	72
8.2.2.1	Polietileno de baja densidad	73
8.2.2.2	Polietileno de mediana densidad.....	73
8.2.2.3	Polietileno de alta densidad.....	73
8.2.3	Aplicaciones en la industria.....	84
8.2.4	Reciclaje.....	86
8.2.4.1	Identificación del polietileno de alta densidad	86
8.2.4.2	Soluciones para minimizar los residuos plásticos	87
8.3	Uso de plástico reciclado en la fabricación de concreto hidráulico.....	92
9	Capitulo III. Metodología de la investigación.....	93
9.1	Metodología	93
9.1.1	Análisis descriptivo.....	93
9.1.1.1	Zona de estudio.....	93
9.1.2	Análisis técnico.....	97
9.1.2.1	Revisión del marco teórico.....	99
9.1.2.2	Recolección y tratamiento del material plástico.....	100
9.1.2.3	Caracterización de los materiales	101
9.1.2.4	Diseño de mezcla.....	102
9.1.2.5	Fabricación y muestreo del concreto hidráulico.....	107
9.1.2.6	Prueba de resistencia a compresión del concreto hidráulico	107
9.1.2.7	Análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones	107
9.2	Caracterización de los materiales	107
9.3	Diseño de mezcla.....	111
9.4	Fabricación y muestreo de concreto hidráulico.....	120
9.5	Prueba de resistencia a compresión del concreto hidráulico.....	121
10	Capitulo IV. Análisis e interpretación de resultados	129
10.1	Resultados de ensayo de resistencia a la compresión.....	129

10.1.1	Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 0%	129
10.1.2	Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 33%	130
10.1.3	Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 66%	131
10.1.4	Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 100%	132
10.2	Comprobación de hipótesis	133
11	Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	138
11.1	Conclusiones	138
11.2	Recomendaciones	139
12	Bibliografía	140

3 Listado de figuras

Figura 1. Identificación del polietileno de alta densidad	87
Figura 2. Zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.....	93
Figura 3. Caracterización del agregado fino mineral	108
Figura 4. Caracterización del agregado grueso mineral.....	109
Figura 5. Caracterización del agregado grueso plástico.....	110
Figura 6. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (a) 100% - 0%.....	120
Figura 7. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (b) 66% - 33%	120
Figura 8. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (c) 33% - 66%.....	121
Figura 9. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (d) 0% - 100%	121
Figura 10. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 7 días.....	122
Figura 11. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 14 días.....	122
Figura 12. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 28 días.....	122
Figura 13. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 7 días.....	122
Figura 14. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 14 días.....	123
Figura 15. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 28 días.....	123
Figura 16. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 7 días.....	123
Figura 17. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 14 días.....	123
Figura 18. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 28 días.....	124
Figura 19. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 7 días.....	124
Figura 20. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 14 días.....	124
Figura 21. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 28 días.....	124
Figura 22. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) a 7, 14 y 28 días	125
Figura 23. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (66% - 33%) a 7, 14 y 28 días	126
Figura 24. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (33% - 66%) a 7, 14 y 28 días	127
Figura 25. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (0% - 100%) a 7, 14 y 28 días	128
Figura 26. Resultados del esfuerzo de la mezcla a (100% - 0%) 7, 14 y 28 días.....	130
Figura 27. Resultados del esfuerzo de la mezcla b (66% - 33%) 7, 14 y 28 días.....	131
Figura 28. Resultados del esfuerzo de la mezcla c (33% - 66%) 7, 14 y 28 días	132
Figura 29. Resultados del esfuerzo de la mezcla d (0% - 100%) 7, 14 y 28 días.....	133
Figura 30. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 7 días.....	135
Figura 31. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 14 días.....	136
Figura 32. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 28 días.....	137

4 Listado de tablas

Tabla 1. Valor nominal y tolerancias para el revenimiento	22
Tabla 2. Temperatura del concreto.....	23
Tabla 3. Contenido total de aire según el tamaño del agregado	24
Tabla 4. Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto	26
Tabla 5. Clases resistentes de los cementos portland	31
Tabla 6. Características especiales de los cementos portland.....	32
Tabla 7. Composición de los cementos portland	33
Tabla 8. Límites granulométricos para el agregado fino.....	37
Tabla 9. Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado fino	39
Tabla 10. Material que pasa la malla no. 200 (0.075 mm) en el agregado fino para casos especiales	40
Tabla 11. Límites granulométricos para agregados gruesos.....	43
Tabla 12. Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso.....	46
Tabla 13. Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice	51
Tabla 14. Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato.....	53
Tabla 15. Límites granulométricos para agregados ligeros finos y gruesos.....	56
Tabla 16. Masas volumétricas máximas de los agregados ligeros	58
Tabla 17. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua	60
Tabla 18. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua, retardantes, acelerantes, y reductores de agua y retardantes [1]	65
Tabla 19. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango y retardantes, superplastificantes, y superfluidificantes y retardantes [1].....	67
Tabla 20. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos inclusores de aire y de comportamiento específico [1].....	70
Tabla 21. Principales propiedades físicas del polietileno de alta densidad	75
Tabla 22. Principales propiedades químicas del polietileno de alta densidad	76
Tabla 23. Principales propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad.....	76
Tabla 24. Principales propiedades térmicas del polietileno de alta densidad.....	77
Tabla 25. Principales propiedades eléctricas de polietileno de alta densidad	78
Tabla 26. Principales propiedades físicas del polietileno de ultra alta masa molecular.....	80
Tabla 27. Principales propiedades químicas del polietileno de ultra alta masa molecular	81
Tabla 28. Principales propiedades mecánicas del polietileno de ultra alta masa molecular	81
Tabla 29. Principales propiedades térmicas del polietileno de ultra alta masa molecular	82
Tabla 30. Principales propiedades eléctricas de polietileno de ultra alta masa molecular	82
Tabla 31. Propiedades del polietileno entrecruzado	83
Tabla 32. Resumen de las aplicaciones del polietileno de alta densidad	85

Tabla 33. Contenido energético de diferentes plásticos.....	89
Tabla 34. Ventajas y desventajas del reciclado térmico del polietileno alta densidad.....	90
Tabla 35. Comparación de las propiedades del polietileno de alta densidad virgen y reciclado	91
Tabla 36. Igualdad de la normativa aplicada al concreto hidráulico.....	99
Tabla 37. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción	102
Tabla 38. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado	103
Tabla 39. Correspondencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto	104
Tabla 40. Relación agua / cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas.....	104
Tabla 41. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	105
Tabla 42. Calculo tentativo del peso del concreto fresco	106
Tabla 43. Clasificación de los concretos en el tabulador de caminos SOP 2018.....	111
Tabla 44. Clasificación de los concretos en el tabulador de edificación SOP 2018	112
Tabla 45. Carpeta de Concreto Hidráulico (N.CTR.CAR.1.04.009/06).....	112
Tabla 46. Comparación de los pesos por metro cúbico de concreto.....	117
Tabla 47. Corrección por humedad y absorción	118
Tabla 48. Valores finales por peso de la dosificación de las 4 mezclas a, b, c y d.....	119
Tabla 49. Valores finales por volumen de la dosificación de las 4 mezclas a, b, c y d	119
Tabla 50. Resultados del esfuerzo de la mezcla a (100% - 0%) 7, 14 y 28 días	129
Tabla 51. Resultados del esfuerzo de la mezcla b (66% - 33%) 7, 14 y 28 días.....	130
Tabla 52. Resultados del esfuerzo de la mezcla c (33% - 66%) 7, 14 y 28 días	131
Tabla 53. Resultados del esfuerzo de la mezcla d (0% - 100%) 7, 14 y 28 días.....	132
Tabla 54. Propiedades del concreto fresco y endurecido de las mezclas a, b, c y d.....	134
Tabla 55. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 7 días.....	134
Tabla 56. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 14 días.....	135
Tabla 57. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 28 días.....	136

5 Resumen

El acelerado aumento de la tasa de crecimiento poblacional en el mundo y el estilo de vida actual basado en el consumismo, han incrementado de forma considerable la cantidad de desechos generados por la actividad humana. Específicamente, los desechos plásticos, los cuales ocasionan un significativo daño al medio ambiente como consecuencia de su difícil proceso de degradación. Esta investigación pretende establecer la viabilidad de implementar los desechos plásticos de tipo PEAD (Polietileno de Alta Densidad) en la elaboración de concreto hidráulico no estructural usado en la construcción de calles (losas de bajo tránsito vehicular) mediante la realización de pruebas para conocer la resistencia a la compresión de mezclas con 30%, 60% y 100% de agregado plástico reemplazado con base a la cantidad de agregado grueso obtenido para un diseño de mezcla de $F'c = 24.50 \text{ MPa}$ (250 Kg/cm^2) realizado con materiales convencionales implementados tradicionalmente en la elaboración del concreto, todo esto teniendo en cuenta los estándares de durabilidad y resistencia requeridos.

Palabras claves: Concreto, Desechos Plásticos, Medio ambiente, resistencia, durabilidad

6 Abstract

The accelerated increase in the population growth rate in the world and the current lifestyle based on consumerism have considerably increased the amount of waste generated by human activity. Specifically, plastic waste, which causes significant damage to the environment as a consequence of its difficult degradation process. This research aims to establish the feasibility of implementing HDPE (High Density Polyethylene) plastic waste in the production of non-structural hydraulic concrete used in the construction of streets (slabs with low vehicular traffic) by carrying out tests to determine the resistance to compression of mixtures with 30%, 60% and 100% of plastic aggregate replaced based on the amount of coarse aggregate obtained for a mix design of $F'c = 24.50 \text{ MPa}$ (250 Kg/cm^2) made with conventional materials implemented traditionally in the preparation of concrete, all this taking into account the required durability and resistance standards.

Keywords: Concrete, Plastic Waste, Environment, resistance, durability

7 Capítulo I. planteamiento del problema de investigación

7.1 Antecedentes

7.1.1 Introducción

Materiales pétreos

Pétreo del latín Petreus, es aquel material proveniente de la roca y se utilizan sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de bloques, losetas (teyolote, pizarra) o fragmentos de distintos tamaños (canteras y gravas).

Suelen ser naturales, aunque a veces procesados por el hombre, derivan de la roca o poseen una calidad similar a la de ésta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción.

Los pétreos corresponden a una de las formas de clasificación de los materiales en general. Éstos pueden ser pétreos naturales extraídos directamente de la naturaleza o pétreos artificiales procesados e industrializados por el hombre.

Dentro de la clasificación de los materiales pétreos podemos encontrar 3 tipos:

- a) Naturales. Localizados en yacimientos naturales, para utilizarlos sólo es necesario que sean seleccionados, refinados y clasificados por tamaños. Comúnmente se hayan en yacimientos, canteras y/o graveras.
- b) Artificiales. Se localizan en macizos rocosos, para obtenerlos se emplean procedimientos de voladura con explosivos, posteriormente se limpian, machacan y clasifican y con ello se procede a utilizarlos.
- c) Industriales. Son aquellos que han pasado por diferentes procesos de fabricación, tal como productos de desecho, materiales calcinados, procedentes de demoliciones o algunos que ya han sido manufacturados y mejorados.

Los pétreos, así como todas las rocas o productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen a este fin, se exceptúan en la Ley Minera como concesibles, salvo que requieran trabajos subterráneos para su extracción.

En palabras sencillas, un mineral o sustancia considerada como “no concesible” está exenta de pago por derechos mineros, así como de las disposiciones de la Ley Minera, sin embargo, su regulación de competencia estatal. El mineral es patrimonio del dueño del terreno, siempre que su extracción sea por tajo o en cantera, sistema conocido como “a cielo abierto”.

Caso especial y que por sus características no se considerarán en este documento, son aquellas extracciones en los márgenes y cauces de cuerpos de agua, que al ser zona federal administrada por la Comisión Nacional de Agua, se requiere de un permiso o concesión especial emitido por ésta.

Lo anteriormente señalado, no exime del cumplimiento de la legislación y normatividad aplicable en los aspectos técnicos, laborales, ambientales y sociales, tanto a nivel federal como estatal.

La mayoría de las operaciones motivo del presente estudio se concentran en la micro y pequeña minería, así como en comunidades agrarias o ejidales identificadas en la denominada minería social.

Resalía que las empresas que integran al ramo de los agregados pétreos presentan características comunes, por ejemplo, que estos establecimientos suelen interesarse más en aspectos de la producción que en la promoción de ventas y en muchos casos, el propietario es al mismo tiempo artesano y trabaja junto con sus empleados. Como lo establece el Centro de Estudios de Competitividad adscrito al Instituto Tecnológico

Autónoma de México (ITAM), “la pequeña y mediana minería y la minería social enfrentan problemas de cuantificación de sus reservas, desconocimiento de la calidad de sus minerales insuficiencia de capitalización y de recursos financieros por falta de garantías y carencia de asesoría técnica y capacitación para la exploración, explotación, beneficio y comercialización de los minerales.

La producción de agregados pétreos se encuentra distribuida ampliamente en el país, resaltando que se encuentran cercanas a los centros de desarrollo urbano y de ampliación de la red carretera, lo que resulta lógico por ser un producto destinado principalmente para construcción, aun cuando también existe mercado especializado para las rocas calcáreas en la industria del cemento, y las sílicas para pulido y limpieza mediante inyección a chorro, recubrimientos y acabados, etc.

En la mayoría de las operaciones productivas, la extracción de agregados pétreos, observado durante las visitas por personal de la Dirección General de Desarrollo Minero, se realiza mediante el uso de sustancias o equipos de fragmentación. Sin embargo, carecen de un plan o método de minado y restauración, se cuenta con maquinaria para los procesos generalmente en mal estado por falta de un programa de mantenimiento y de administración de recursos.

En contraparte, a nivel estatal y federal existen instancias del sector minero que facilitan y proporcionan asesoría, asistencia técnica y capacitación, especialmente para la micro, pequeña y mediana empresa minera y aquéllas englobada en el sector social.

El poco conocimiento que se tiene por parte de los productores de los mercados de consumo sobre los usos y las particularidades del agregado pétreo producido, así como el bajo control de calidad en las fases de producción, ha provocado que el mercado objetivo sea el sector de la construcción.

La producción de materiales pétreos se divide de acuerdo al medio de clasificación, por vía seca que permita una curva o gradiente granulométrico en materiales de base y carpeta o por vía húmeda para limitar la presencia de finos y arcillas para concretos hidráulicos.

Dependiendo de su uso final, puede requerirse análisis para ofrecer información sobre su naturaleza e identificación, propiedades geométricas, propiedades mecánicas, ausencia de impurezas, inalterabilidad y adhesividad.

Sin embargo, como en la práctica o se tiene un control de calidad por parte de los productores y los consumidores más exigente, que son aquellos que adquieren volúmenes importantes, sencillamente rechazar el producto o la negocian a un precio menor.

En este sentido se tiene que las ventas que podrían llamarse de “primera mano”, corresponden básicamente al producto en bruto o “en greña”, tal como se extrae de la mina, ya sea para un intermediario o para obra civil de mampostería.

Por lo que hace a las denominadas ventas de “segunda mano”, incluyen el producto sometido a una clasificación, generalmente por vía seca y en cribas estáticas para la industria de la construcción. Las ventas de “tercera mano” corresponden al producto con características químicas específicas, previamente trituradas y clasificadas por vía seca que pasan a una segunda clasificación por vía húmeda para productores de cementos, cales y mezclas sílicas. Por último, las ventas de cuanto nivel, son aquéllas que se orientan al consumidor final de productos premezclados o prefabricados.

Una característica desafortunada de la industria nacional de los materiales pétreos de mercado regional tiene que ver con la dificultad en la generación de estadísticas que pudieran tomarse como referencia global.

Residuos solidos

La producción de alimentos, así como la fabricación y el consumo de bienes para el hogar y la industria son ejemplos de actividades cotidianas que producen una gran variedad de residuos. Dependiendo de su composición, tasa de generación y manejo, pueden tener efectos muy diversos en la población y en el ambiente llegando, en algunos casos, a ser altamente peligrosos, sobre todo cuando involucran compuestos tóxicos que se manejan de manera inadecuada (ver el recuadro Consecuencias ambientales y en la salud de la disposición inadecuada de los residuos sólidos urbanos, en el informe de la Situación del Medio Ambiente, edición 2015; Semarnat, 2016).

Los residuos se definen formalmente como los materiales o productos que se desechan ya sea en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, que se contienen en recipientes o depósitos y que necesitan estar sujetos a tratamiento o disposición final con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR;DOF,2003), y se clasifican de acuerdo a sus características y orígenes en tres grupos residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son aquellos que producen en los domicilios, ya sea casas habitación, oficinas o pequeños comercios, así como los que provienen de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias y los que se producen en lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole (DOF,2003).

Según algunas estimaciones, la producción mundial de RSU alcanzó, aproximadamente, 1,300 millones de toneladas diarias en 2010, y podría crecer hasta los 2,200 millones en el año 2025 (Hoornweg y Bhada-Tata,2012). El volumen de generación de RSU a nivel global muestra una gran disparidad regional, determinada, principalmente, por el desarrollo económico y la proporción de la población urbana en cada región. En el año

2010. Cerca del 44% de los RSU producidos en el planeta correspondieron a los países con las economías más desarrolladas pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE; Hoornweg y Bhada-Tata.2012). Los países de Latinoamérica y el Caribe contribuyeron con el 12% del total, de los países que integran las regiones del Pacífico y del Este de Asia.

En México, según las cifras más recientes, publicadas en el 2017, la generación de RSU alcanzó 44.6 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 35.6% con respecto a 2003 (11.73 millones de toneladas más generadas en ese período). Si se expresa por habitante, alcanzó 0.98 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año (Presidencia de la República, 2017).

De acuerdo a la información del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones (CNGMD; INEGI, 2018), hasta 2016 sólo 15% de la recolección de desechos en el país era selectiva; las entidades que colectaron de esta forma el mayor volumen de sus residuos fueron la Ciudad de México (89.55% del volumen recolectado en la entidad), Puebla (41.10%) y Yucatán (12%). En ese mismo año, 8 entidades federativas no realizaban recolección de este tipo. En muchos países en desarrollo incluido México una proporción importante de volúmenes de materiales susceptibles de reciclaje se separa previamente a su recolección.

El volumen de materiales reciclados en México es reducido: en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% del volumen de los residuos generados (INECC, 2012). Esta cifra resulta baja cuando se compara con lo reportado para los países que forman parte de la OCDE, que en promedio reciclaron en ese mismo año alrededor del 24% de sus residuos, con algunos países con porcentajes cercanos o mayores al 50%, como en el caso de Corea del Sur y Alemania (58 y 47%, respectivamente; OCDE 2016). Según el CNGMD (INEGI, 2018), del volumen total reciclado en el país en 2014, el mayor porcentaje correspondió a PET (33.79%), seguido por el papel, cartón y productos de papel (22.76%) y plásticos (12.95%).

7.1.2 Justificación

La utilización de residuos de plásticos como materiales de construcción está muy limitado todavía, aunque se realizan ensayos e investigaciones, todavía no es muy conocida esta mezcla como material. Anteriormente se han realizado investigaciones y ensayos de laboratorios del comportamiento de estos materiales con el concreto, pero no se han realizado los ensayos consolidando y compactando los plásticos, al alterar su forma y características puede cambiar su comportamiento arrojando una gran incógnita de si este método de alteración del material resulta adecuado aportando un avance a los materiales de construcción. Este proyecto busca la mezcla apropiada para obtener una resistencia óptima y aceptable entre los rangos establecidos, que permita utilizar este producto de los tratamientos realizados como material constructivo.

Para comprobar esta investigación y poder hacer un aporte importante a los materiales de construcción se tienen que realizar ensayos que comprueben que esta nueva mezcla alcanza la resistencia deseada y la durabilidad adecuada.

Los beneficiarios directos con este proyecto es la población de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez quienes desechan estos tipos de materiales, porque al convertir estos residuos en un material para la construcción mejora la sostenibilidad y en general se puede reutilizar un material que hasta ahora constituye un serio problema ambiental.

7.1.3 Importancia

- Reducir el impacto ambiental generado por el desperdicio de plástico de polietileno de alta densidad (PEAD).
- Reducir el impacto ambiental generado por la extracción de materiales pétreos en ríos y canteras.
- Impacto técnico económico de la sustitución de materiales pétreos ligeros por agregado pétreo artificial en obras de concreto hidráulico.

7.1.4 Objetivos

7.1.4.1 Objetivo general

Estudiar la viabilidad de implementación de PEAD como agregado grueso para el diseño de losas de pavimentación de bajo flujo vehicular.

7.1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar mezclas de concreto con adiciones de PEAD como material de reemplazo del agregado pétreo.
- Determinar el porcentaje de reemplazo óptimo de PEAD en las mezclas de concreto hidráulico para cumplir con los requerimientos de diseño de mezclas de concreto hidráulico para losas.
- Determinar los conceptos en los tabuladores de la SCT y SOP que cumplen la resistencia a compresión de las mezclas de concreto hidráulico ligero a base de PEAD como agregado grueso.
- Evaluar el desempeño de las mezclas de concreto con PEAD en las pruebas de control de calidad de concreto para losas.
- Determinar la resistencia a compresión de las mezclas de concreto con PEAD frente a la mezcla de control.

8 Capítulo II. Marco Teórico

8.1 Concreto Hidráulico

8.1.1 Definición

De acuerdo a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, es una combinación de cemento portland, agregados pétreos, agua y aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.¹

8.1.2 Clasificación

8.1.2.1 De acuerdo por los agregados que lo componen

a) Concreto normal

Es aquel que se elabora con agregados pétreos densos, para alcanzar una masa volumétrica seca mayor de 2000 kg/m^3 una vez compactado.

b) Concreto ligero

Es aquel que se elabora con agregados pétreos de baja densidad, para alcanzar una masa volumétrica seca menor de 2000 kg/m^3 , una vez compactado.

c) Concreto lanzado

Es aquel que, mediante una fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente.

¹ N.CTR.CAR.1.02.003/04 (2004); Libro Construcción, Tema: Carreteras, Parte: Conceptos de obra, Título: Estructuras, Capítulo: Concreto Hidráulico.

d) Concreto ciclópeo

Es aquel que está formado por una mezcla cuyos agregados pétreos se componen hasta en un 60% por fragmentos de roca con una masa máxima de 30 kg por pieza, que se colocan embebidos en el concreto normal, en su lugar definitivo en la obra.

8.1.2.2 De acuerdo con su función

a) Concreto hidráulico clase 1

Es el concreto cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre 2,200 y 2,400 kg/m³. Al alcanzar su fraguado final, tendrá una resistencia a la compresión igual a 24.5 MP (250 kg/cm²) o mayor.

b) Concreto hidráulico clase 2

Es el concreto cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre 1,800 y 2,200 kg/m³. Al alcanzar su fraguado final, tendrá una resistencia a la compresión menor a 24.5 MP (250 kg/cm²).

8.1.2.3 De acuerdo con su forma de elaboración

a) Concreto hidráulico hecho en obra

Se fabrica en la obra mediante un equipo mecánico ligero denominado revolvedora, dosificando generalmente sus componentes en volumen, o bien con equipos mayores como plantas dosificadoras, donde el proporcionamiento se hace por masa.

b) Concreto premezclado

Se dosifica o premezcla en una planta, por lo general no ubicada dentro de la obra, y posteriormente se le transporta en camiones mezcladores o de volteo al sitio requerido. La dosificación siempre se hace en masa. Si la planta solo dosifica, esta introduce los materiales a un equipo revolver mecánico automotor, con capacidad promedio de 6 m³, el cual, durante el trayecto de la planta a la obra, realiza el mezclado.

8.1.3 Requisitos de calidad para el concreto hidráulico

8.1.3.1 Revenimiento

El revenimiento es la primera prueba que se le practica a un concreto en estado fresco, de acuerdo con lo establecido en el manual M.MMP.2.02.056, revenimiento del concreto fresco. Cuando no existan especificaciones al respecto, se aplicarán los valores nominales señalados en la tabla 1.

Tabla 1. Valor nominal y tolerancias para el revenimiento

Revenimiento (cm)	Tolerancia (cm)	Consistencia
Menor de 5 [1]	±1.5	Baja
Entre 5 y 10 [2]	±2.5	Media
Mayor de 10 [3]	±3.5	Alta

[1] para elementos colados en planta bajo vibración pesada. Pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos; secciones macizas grandes.

[2] para pavimentos, losas para construcciones, cajones de cimentación, cimentaciones, losas estructurales, muros de subestructuras, columnas reforzadas normales, trabes, concreto para bombeos reforzados.

[3] para secciones especialmente difíciles y congestionadas, en las cuales no puede emplearse la vibración. Revenimiento mayor de 18 cm no se recomienda para uso alguno, excepto cuando se utilicen aditivos.

En caso de que el revenimiento del concreto sea inferior al límite especificado, aun considerando la tolerancia, el concreto podrá ser aceptado si no existen dificultades para su colocación.

El revenimiento del concreto estará dentro de los valores permisibles, durante los primeros 30 minutos medidos a partir de que llegue a la obra. El periodo máximo de espera en el sitio de entrega es de 30 minutos, manteniendo el equipo de transporte a una velocidad de agitación de 6 revoluciones por minuto.

8.1.3.2 Temperatura

La temperatura máxima del concreto producido con materiales calentados para compensar las bajas temperaturas, no excederá de 32° C en el momento de producción y colocación. En el caso de climas fríos, se procurará mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la tabla 2.

Tabla 2. Temperatura del concreto

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura mínima del concreto (°C)	
	Secciones delgadas y losas sobre pisos	Secciones gruesas y concreto masivo
7 a -1	16	10
-2 a -18	18	13
< De -18	21	16

En climas cálidos, la temperatura máxima del concreto en el momento de la producción y colocación no excederá de 32° C y no presentará una evaporación mayor de 1 lt/m² por hora.

Para contrarrestar el efecto de las temperaturas ambientales altas, se podrá considerar la conveniencia de enfriar los materiales y la posibilidad de enfriar el agua, sin que la temperatura del concreto fresco descienda a -10° C.

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal de agregado, se podrán emplear los porcentajes de contenido total de aire indicados en la tabla 3.

Tabla 3. Contenido total de aire según el tamaño del agregado

Tamaño nominal del agregado (mm)	Contenido total de aire recomendado según tipo de exposición (%)		
	Ligero	Mediano	Severo
75	1.5	3.5	4.5
50	2.0	4.0	5.0
40	2.5	4.5	5.5
25	3.0	4.5	6.0
20	3.5	5.0	6.0
13	4.0	5.5	7.0
10	4.5	6.0	7.5

El intervalo del contenido total de aire en el concreto estará indicado en el proyecto, de acuerdo con las condiciones particulares de cada obra. Se realizarán pruebas para determinar el contenido de aire, de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.053, características del concreto con inclusor de aire.

Se evitará contenidos de aire superiores a los indicados en la tabla 3, ya que pueden reducir la resistencia a la compresión sin lograr una protección adicional.

8.1.3.3 Resistencia

El concreto alcanzara la resistencia a la compresión F'_c o a la tensión T , a los 28 días de edad, que se haya establecido en el proyecto, con las tolerancias ahí indicadas. Para verificar la resistencia a la compresión o a la tensión, se elaborarán especímenes de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.055, muestreo de concreto hidráulico y serán probados conforme a los procedimientos indicados en los manuales M.MMP.2.02.058, resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto y M.MMP.2.02.059, resistencia a la tensión de cilindros de concreto, según corresponda.

Cuando sea necesario determinar el índice de rebote en el concreto endurecido, para evaluar la uniformidad superficial del concreto en el sitio, para delimitar zonas o áreas de diferentes resistencias o concreto deteriorado en las estructuras, así como para indicar cambios en las características del concreto a través del tiempo, se realizará la prueba descrita en el manual M.MMP.2.02.061, índice de rebote del concreto mediante esclerómetro.

Cuando los resultados obtenidos de especímenes cilíndricos indiquen baja resistencia del concreto o por que existan evidencias de un mal acomodo o de curado, se deberá evaluar la resistencia mediante núcleos extraídos de la zona en donde fue colocado el concreto en duda. Por cada zona se probarán tres núcleos, el promedio de estos no será menor del 85% de la resistencia de proyecto $F'c$ y ningún valor será menor del 75% de la de proyecto.

8.1.3.4 Volumen

El volumen de una carga de concreto establecida, se determinará a partir de la masa total de los materiales de la mezcla, dividido entre la masa volumétrica del concreto mismo.

La masa volumétrica se determina en el concreto fresco, de acuerdo en lo establecido en el manual M.MMP.2.02.053, características del concreto con inclusor de aire, antes de su colocación y será el promedio de por lo menos 3 mediciones, cada una efectuada en una muestra obtenida de diferentes revolturas hechas en obra por un mismo equipo y cuadrilla de trabajo, en el caso de concreto premezclado, las muestras se obtendrán de diferentes entregas con el mismo equipo y operador.

El volumen elaborado o suministrado, determinado tal como se indica en los dos párrafos anteriores, se podrá aceptar con una tolerancia de $\pm 1\%$ respecto a la cantidad establecida.

Se entenderá que el volumen de concreto endurecido puede ser o aparentar ser, menor que el suministro debido al desperdicio, derrame, sobre excavaciones, ensanchamiento o falta de calafateo en las cimbras, alguna pérdida de aire incluido, asentamiento de las mezclas húmedas y evaporación del agua, lo cual deberá tomarse en cuenta.

8.1.3.5 Requisitos de mezclado

El concreto elaborado con mezcladora estacionaria o camión mezclador o agitador deberá satisfacer los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto indicado en la tabla 4.

Tabla 4. Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

Prueba	Diferencia máxima permisible entre pruebas con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga [1]
1.- Masa volumétrica (kg/m³)	15
2.- Contenido de aire (%) del volumen del concreto determinado para concretos con aire incluido	1
3.- Revenimiento (cm): Si el revenimiento promedio es menor de 6 cm Si el revenimiento promedio está comprendido entre 6 y 12 cm Si el revenimiento promedio es superior a 12 cm	1.5 2.5 3.5
4.- Cantidad de agregado grueso retenido en la malla no.4 (4.75 mm) (% de la masa de la muestra)	6
5.- Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra (basado en la resistencia promedio de todos los especímenes de prueba %) [2]	10 [3]

[1] las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla se obtendrán de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio: del 10 al 15% del volumen, final: del 85 al 90% del volumen).

[2] no menos de 3 cilindros serán elaborados y probados para cada muestra.

[3] la aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia.

8.1.3.5.1 Concreto mezclado en planta

Las mezcladoras serán operadas dentro de los límites de capacidad y velocidad designados por el fabricante del equipo. El tiempo de mezclado será medido desde el momento en que estén todos los materiales en el interior de la mezcladora, incluyendo al agua.

Se harán pruebas de uniformidad a los concretos con revenimiento inferior a 5 centímetros, para determinar el tiempo de mezclado con el equipo que vaya a emplearse, de acuerdo a la tabla 4.

Cuando no se realicen pruebas de uniformidad de mezclado en el concreto con revenimiento mayor de 5 centímetros, el tiempo de mezclado no será menor de 1 minuto. Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo indicado será aumentado en quince 15 segundos por cada m^3 o fracción de capacidad adicional.

Cuando se hayan hecho pruebas de uniformidad de mezclado y las mezcladoras sean cargadas a la capacidad estipulada para esas circunstancias en particular, el tiempo de mezclado aceptable puede ser reducido siempre y cuando se logre un mezclado satisfactorio.

Cuando se inicie el mezclado del concreto en una revolvedora estacionaria y se complete en el camión mezclador, el tiempo de mezclado en la revolvedora estacionaria podrá ser exclusivamente el requerido para entremezclar los ingredientes, considerando que después de cargar el camión mezclador será necesario un mezclado adicional a la velocidad especificada en la placa metálica del camión, que normalmente es de 10 a 12 revoluciones por minuto, para que el concreto alcance los requisitos indicados en la tabla 4, pero sin que la olla exceda de 300 vueltas o 1.5 horas después de la incorporación del agua a los componentes mezclados. Si se requiere un mezclado adicional en el camión previo a la descarga, este se realizará a la velocidad de agitación, que por lo regular es de 2 a 6 revoluciones por minuto.

Regularmente, es conveniente hacer pruebas en el concreto, para verificar que se cumpla con los requisitos de uniformidad que se indica en la tabla 4.

Se considera que el concreto cumple con los requisitos de uniformidad cuando por lo menos los resultados de 4 pruebas a 5 concuerden con los valores de la tabla 4.

8.1.3.5.2 Concreto mezclado en camión

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión revolvente, se requerirán de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificada (normalmente de 10 a 12 revoluciones por minuto). En el caso de requerirse mezclado adicional en el camión, este se realizará a la velocidad de agitación, que por lo general es de 2 a 6 revoluciones por minuto. En caso de duda sobre la uniformidad de mezclado, se podrá realizar las pruebas indicadas y con base en los resultados, aceptar o rechazar el uso del camión mezclador, el cual no podrá utilizarse hasta que sea corregido. Cuando se encuentre satisfactorio el mezclado de algún camión mezclador, el mezclado de otros del mismo diseño y con el mismo estado de espas podrá considerarse igualmente satisfactorio.

8.1.4 Componentes para el concreto hidráulico

8.1.4.1 Cemento

8.1.4.1.1 Definición

El cemento portland es un conglomerante hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece. se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizando a un grado de finura determinado una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, que se denomina Clinker portland, al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhídrita (CaSO_4), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), para regular el tiempo de fraguado. Según las propiedades que se requieran o para auxiliar la molienda, además se le pueden incorporar otros materiales como:

- a) Puzolanas que son materiales industriales naturales, artificiales o subproductos industriales silíceos o silicoaluminosos, o una combinación de ambos, los cuales no endurecen por sí mismos, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con propiedades cementantes. Proceden de algunas de las tierras diatomáceas, horstemos opalinos, pizarras, tobas y pómez, así como de diferentes productos de calcinación y de algunas de las arcillas más comunes como la montmorilonita y la caolinita. Dentro de estos materiales se consideran las cenizas volantes que se obtienen de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados, mediante la precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión.
- b) Escoria granulada de alto horno, es decir, residuo no metálico que se obtiene en el alto horno por la fusión de minerales de hierro, enfriado bruscamente con agua o vapor y aire, compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos.
- c) Humo de sílice, que es una puzolana muy fina constituida esencialmente por sílice amorfa, obtenida como un subproducto de la fabricación de silicio o aleaciones con arco eléctrico de ferro-silicio.
- d) Caliza, que es un material de naturaleza inorgánica de origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonatos de calcio en forma de calcita.

El cemento portland cumplirá con lo indicado en la norma N.CMT.2.02.001, calidad del cemento portland. Cuando el proyecto no especifique el tipo de cemento por usar en cada caso, se debe entender que se trata de cemento portland ordinario (CPO).

8.1.4.1.2 Clasificación

8.1.4.1.2.1 Según su composición

Según los materiales que los componen, los cementos portland se clasifican como:

a) Tipo CPO (Cemento Portland Ordinario)

El producido mediante la molienda del Clinker portland y sulfato de calcio. Cuando el proyecto no establezca el tipo de cemento portland por usar en cada caso, se entenderá que se trata de cemento tipo CPO.

b) Tipo CPP (Cemento Portland Puzolánico)

El que resulta de la molienda conjunta del Clinker portland, puzolanas y sulfato de calcio.

c) Tipo CPEG (Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno)

El producto mediante la molienda conjunta del Clinker portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

d) Tipo CPC (Cemento Portland Compuesto)

El que se obtiene de la molienda conjunta del Clinker portland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional al Clinker portland con el sulfato de calcio.

e) Tipo CPS (Cemento Portland con Humo de Sílice)

El que resulta de la molienda conjunta del Clinker portland, humo de sílice y sulfato de calcio.

f) Tipo CEG (Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno)

El producto mediante la molienda conjunta del Clinker portland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

8.1.4.1.2.2 Según su resistencia a compresión

Según su resistencia mecánica a la compresión, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.004, resistencia a la compresión del cemento, los cementos portland se clasifican en las clases resistentes que se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Clases resistentes de los cementos portland

Clase resistente	Resistencia a la compresión		
	a 3 días [1]	a 28 días [2]	
	mínimo MPA (kg/cm ²)	mínimo MPA (kg/cm ²)	máximo MPA (kg/cm ²)
20	-	20 (204)	40 (408)
30	-	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	-	40 (408)	-
40R	30 (306)	40 (408)	-

[1] corresponde a la resistencia inicial del cemento.

[2] corresponde a la resistencia normal del cemento.

Para identificar un cemento portland, la clase resistente se anotará inmediatamente después de la designación del tipo de cemento que se indica.

8.1.4.1.2.3 Según sus características especiales

Los cementos portland pueden presentar una o más de las características especiales que se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Características especiales de los cementos portland

Característica especial	Nomenclatura
Resistente a los sulfatos	RS
Baja reactividad álcali-agregado	BRA
Bajo calor de hidratación	BCH
Blanco	B

Para identificar un cemento portland con una característica especial, la nomenclatura de esta será anotada inmediatamente después de la designación del tipo de cemento que se indica y de la clase resistente que se señala. De tener dos o más características especiales, sus nomenclaturas se anotan siguiente el orden descendente de la tabla, separándolas con una diagonal.

8.1.4.1.3 Requisitos de calidad

8.1.4.1.3.1 Composición del cemento

La composición de los diferentes tipos de cemento portland estará comprendida dentro de los límites que se establecen en la tabla 7.

Tabla 7. Composición de los cementos portland

Cemento Portland		Clinker Portland + Sulfato de Calcio	Componentes Principales				Componentes Minoritarios [2]
Tipo	Denominación		Puzolanas [1]	Escoria Granulada de Alto Horno	Humo de Sílice	Caliza	
CPO	Cemento Portland Ordinario	95 – 100	-	-	-	-	0 – 5
CPP	Cemento Portland Puzolánico	50 – 94	6 – 50	-	-	-	0 – 5
CPEG	Cemento Portland Con Escoria De Alto Horno	40 – 94	-	6 – 60	-	-	0 – 5
CPC [3]	Cemento Portland Compuesto	50 – 94	6 – 35	6 – 35	1 – 10	6 – 35	0 – 5
CPS	Cemento Portland Con Humo De Sílice	90 – 99	-	-	1 – 10	-	0 – 5
CEG	Cemento Con Escoria Granulada De Alto Horno	20 - 39	-	61 - 80	-	-	0 - 5

[1] las puzolanas pueden ser naturales, artificiales y cenizas volantes.

[2] los componentes minoritarios pueden ser uno o más de los componentes principales, salvo que estén incluidos ya como tales en el cemento.

[3] el cemento portland compuesto contendrá dos componentes principales como mínimo, excepto cuando se trate de caliza, la que puede ser el único componente principal.

El contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) en la caliza que se utilice como componente principal del cemento portland compuesto (CPC), determinado mediante cualquier método de análisis convencional, será como mínimo de 75%.

En cualquier tipo de cemento portland el contenido máximo de trióxido de azufre (SO_3) será tal que no cause una expansión mayor de 0.02% a los 14 días de inmersión en agua, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.011, expansión potencial por la acción de los sulfatos.

8.1.4.1.3.2 Requisitos físicos

a) Resistencia a la compresión

Las resistencias mecánicas a la compresión, inicial y normal, determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.004, resistencia a la compresión del cemento, de cualquier tipo de cemento portland, serán las indicadas en la tabla 5, según su clase resistente.

b) Tiempo de fraguado

Para cualquier tipo de cemento portland y todas las clases resistentes, los tiempos de fraguado inicial y final serán como mínimo de 45 y 600 minutos, respectivamente, determinados de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.006, tiempo de fraguado del cemento por el método de Vicat.

c) Estabilidad de volumen

Para cualquier tipo de cemento portland y todas las clases resistentes, la expansión y la contracción serán como máximo de 0.8 % y 0.2%, respectivamente, determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.009, sanidad del cemento.

d) Actividad puzolánica

Para los componentes principales, el índice de actividad determinado de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.010, actividad puzolánica del cemento,

con cemento portland ordinario CPO 30, a 28 días, será como mínimo de 75% con las adiciones de puzolanas o de escoria granulada de alto horno y de 100% con las adiciones de humo de sílice.

e) Expansión por ataque de sulfatos

La expansión por ataque de sulfatos en los cementos portland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial RS (resistentes a los sulfatos) será como máximo de 0.05% a 6 meses y de 0.01% a 1 año, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.012, expansión por ataque de sulfatos.

f) Expansión por reacción álcali-agregado

La expansión por reacción álcali-agregado en los cementos portland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial BRA (baja reactividad álcali-agregado) será como máximo de 0.02% a 14 días y de 0.06% a 28 días, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.034, reactividad potencial de los agregados mediante barras de mortero.

g) Calor de hidratación

El calor de hidratación de los cementos portland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial BCH (bajo calor de hidratación) será como máximo de 250 y de 290 kiloJoules por kilogramo, a 7 y 28 días, respectivamente, determinado de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.013, calor de hidratación del cemento.

h) Blancura

La blancura de los cementos portland de cualquier tipo y clase resistente, con la característica especial B (blanco) será como mínimo de 70%, determinada de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M.MMP.2.02.014, blancura del cemento.

8.1.4.2 Agregados pétreos

8.1.4.2.1 Definición

Los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado; materiales producto de la demolición y trituración de pavimentos de concreto hidráulico existentes, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento portland y agua, para formar concreto hidráulico.²

Los agregados pétreos cumplirán con lo indicado en la norma N.CMT.2.02.001, calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico. El tamaño máximo del agregado se seleccionará de acuerdo con las características del elemento estructural y con lo indicado por el proyecto, considerando que las dimensiones del agregado grueso no serán mayores que: 1/5 de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, 1/3 del espesor de las losas y 2/3 de la separación horizontal libre mínima entre varillas, paquetes de varillas o tendones de pres fuerza.

8.1.4.2.2 Clasificación

8.1.4.2.2.1 Agregado fino

8.1.4.2.2.1.1 Definición

Es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre 70 y 75 micrómetros (malla no. 200) y 4.75 mm (malla no. 4), pudiendo contener finos de menor tamaño.

² N.CMT.2.02.002/19 (2019); Libro Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico.

8.1.4.2.2.1.2 Requisitos de calidad

8.1.4.2.2.1.2.1 Granulometría

La granulometría del agregado fino, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.020, granulometría de los agregados pétreos, estará comprendida entre los límites que se indican en la tabla 8.

Tabla 8. Límites granulométricos para el agregado fino

Malla		Porcentaje Retenido Acumulado [1]
Abertura (mm)	Designación	
9.5	3/8 in	0
4.75	4	0 – 5
2.36	8	0 – 20
1.18	16	15 – 50
0.60	30	40 – 75
0.30	50 [2]	70 – 90
0.15	100 [2]	90 - 98

[1] el retenido parcial de la masa total en cualquier malla, no será mayor de 45%.

[2] si los agregados van a ser empleados en concretos con aire incluido y con un contenido de cemento mayor de 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido y con un contenido de cemento mayor de trescientos 300 kg/m³, los porcentajes máximos especificados en esta tabla para el material retenido acumulado en las mallas no. 50 y no. 100 se podrán aumentar a 95% y a 100%, respectivamente, así como en el caso en que se use aditivo mineral que supla las deficiencias en las cantidades de material que pase dichas mallas. Se considera un concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire y con un contenido de aire mayor del 3%.

8.1.4.2.2.1.2.2 Módulo de finura

El módulo de finura que corresponde a la granulometría a que se refiere la fracción anterior, es decir, la centesimal parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados

en cada una de las mallas que se indican en la tabla anterior, no será menor de 2.3, ni mayor de 3.1, con una tolerancia de variación de ± 0.2 con respecto al valor de módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto hidráulico. En caso de que el módulo de finura sobrepase dicha tolerancia, se harán los ajustes necesarios en las proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica.

8.1.4.2.2.1.2.3 Material que pasa la malla no. 200

El porcentaje del material que pasa la malla no. 200 (0.75 mm de abertura) en el agregado fino, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.030, partículas más finas que la malla no. 200 (0.75 mm) en los agregados, no será mayor que los límites indicados en la tabla 9. En casos especiales, cuando así lo apruebe la secretaria, esos límites podrán ser hasta los indicados en la tabla 10, según los límites de consistencia del material que pasa la malla no. 200.

8.1.4.2.2.1.2.4 Contenido de sustancias perjudiciales

El contenido en el agregado fino, de terrones de arcilla y partículas deleznales, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.031, terrones y partículas deleznales en los agregados, así como el de carbón y lignito, no excederá los límites indicados en la tabla 9.

Tabla 9. Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado fino

Substancias Perjudiciales	Contenido Máximo Respecto a la Masa Total de la Muestra (%)
Terrones de arcilla y partículas deleznales	1
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En concreto de cualquier otra índole	1
Materiales finos que pasan la malla no. 200 [1]	
Para concreto sujeto a desgaste	3
Para concreto de cualquier otra índole	5

[1] en el caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla no. 200 está formado por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, estos límites se podrán aumentar hasta el 5% y 7%, respectivamente.

Tabla 10. Material que pasa la malla no. 200 (0.075 mm) en el agregado fino para casos especiales

Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Contenido Máximo Respecto a la Masa Total de la Muestra (%)
Hasta 25	Hasta 4	18
	De 5 a 9	14
	De 10 a 15	9
De 26 a 35	Hasta 4	15
	De 5 a 9	11
	De 10 a 15	7
De 36 a 45	Hasta 4	12
	De 5 a 9	9
	De 10 a 15	6
De 46 a 55	Hasta 4	9
	De 5 a 9	7
	De 10 a 15	5

8.1.4.2.2.1.2.5 Contenido de impurezas orgánicas

El agregado fino no tendrá impurezas orgánicas en cantidad tal que produzcan una coloración más oscura que la de la solución normalizada no. 3, determinada con el método de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.026, impurezas orgánicas en agregados finos. Si el agregado fino no cumple con este requisito, se podrá emplear siempre y cuando se demuestre, que la coloración es causada principalmente por la presencia de pequeñas cantidades de carbón mineral, lignito o partículas similares, o que al probarse para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero, mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.004,

resistencia a la compresión del cemento portland, la resistencia relativa a la compresión del mortero a 7 y 28 días, sea mayor de 95%.

8.1.4.2.2.1.2.6 Reactividad con los álcalis del cemento

Si en el examen petrográfico, realizado de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.037, examen petrográfico de los agregados, se detectan partículas de sílice reactivo o de carbonato reactivo y el agregado fino se utilizará para la elaboración de concretos que estarán sujetos a la exposición prolongada en atmosfera húmeda o en contacto con suelos húmedos, dicho agregado cumplirá con lo indicado en el apartado 8.1.4.2.2.2.3.

8.1.4.2.2.1.2.7 Intemperismo acelerado

El agregado fino tendrá una pérdida en la prueba de intemperismo acelerado, en masa, igual a 10% o menor cuando se emplee sulfato de sodio, o de 15% o menor cuando se emplee sulfato de magnesio, realizando la prueba con una muestra que cumpla los requisitos de granulometría indicados en la tabla 8 y mediante el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.028, sanidad de los agregados mediante sulfato de sodio o de magnesio.

De no cumplir con los requisitos establecidos en el inciso anterior, el agregado fino solo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio en condiciones similares de intemperismo o, tratándose de agregados finos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos sujetos a pruebas de congelación y deshielo, conforme al método descrito en el manual M.MMP.2.02.060, resistencia del concreto a congelación y deshielo, verificando que los concretos obtenidos tengan una resistencia superior a la de proyecto.

8.1.4.2.2 Agregado grueso

8.1.4.2.2.1 Definición

Puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, o producto de trituración de losas de pavimentos de concreto hidráulico existentes, o escorias de alto horno enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre 19 mm y 75 mm.

8.1.4.2.2.2 Requisitos de calidad

8.1.4.2.2.2.1 Granulometría

La granulometría de los agregados gruesos, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.020, granulometría de los agregados pétreos, estará comprendida entre los límites que se indican en la tabla 11, según su tamaño nominal. Para controlar la calidad de producción, puede desarrollarse una granulometría promedio y mantenerse dentro de las tolerancias indicadas en dicha tabla.

Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites establecidos en el inciso anterior, se les dará algún tratamiento para que cumplan con dichos límites. En el caso de que se acepte que los agregados gruesos no cumplan con los límites indicados, se ajustara el proporcionamiento del concreto hidráulico para compensar las deficiencias granulométricas, debiéndose demostrar, que el concreto fabricado con el nuevo proporcionamiento tiene un comportamiento adecuado.

Tabla 11. Límites granulométricos para agregados gruesos

Malla (mm) (Designación)	Tamaño Nominal (mm)												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20 [1]	40 a 5 [1]	25 a 13 [1]	25 a 10 [1]	25 a 5 [1]	20 a 10 [1]	20 a 5 [1]	13 a 5 [1]	10 a 2.5 [1]
	Porcentaje Retenido Acumulado												
101 (4 in)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89 (3 1/2 in)	0 - 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75 (3 in)	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63 (2 1/2 in)	75 - 40	0 - 10	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50 (2 in)	-	30 - 65	0 - 10	0 - 5	0	0	-	-	-	-	-	-	-
37.5 (1 1/2 in)	85 - 100	85 - 100	30 - 65	-	0 - 10	0 - 5	0	0	0	-	-	-	-
25 (1 in)	-	-	85 - 100	30 - 65	45 - 80	-	0 - 10	0 - 10	0 - 5	0	0	-	-
19 (2/4 in)	95 - 100	95 - 100	-	-	85 - 100	30 - 65	45 - 60	15 - 60	-	0 - 10	0 - 10	0	-

12.5 (1/2 in)	-	-	95 - 100	70 - 90	-	-	90 - 100	60 - 90	40 - 75	45 - 60	-	0 - 10	0
9.5 (3/8 in)	-	-	-	-	95 - 100	70 - 90	95 - 100	85 - 100	-	85 - 100	45 - 80	30 - 60	0 - 15
4.75 (No. 4)	-	-	-	95 - 100	-	95 - 100	-	95 - 100	90 - 100	95 - 100	90 - 100	85 - 100	70 - 90
2.36 (No. 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	95 - 100	-	95 - 100	95 - 100	90 - 100
1.18 (No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95 - 100

1] limites indicados para la granulometría del agregado grueso para carpetas de concreto hidráulico

Si las losas corresponden a carpetas de concreto hidráulico que se vayan a construir mediante el sistema de doble capa, el tamaño máximo del agregado para cada capa no excederá de 1/3 del espesor de cada una de ellas y cumplirá con lo establecido en la tabla 11 de acuerdo con el tamaño nominal del agregado pétreo de cada capa.

Cuando la losa de concreto de la superestructura de un puente nuevo, además de su función estructural vaya a funcionar como superficie de rodadura, sus agregados pétreos cumplirán con todas las características que se establecen en la norma N.CMT.2.02.002, calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico, según su tamaño nominal.

8.1.4.2.2.2.2 Material que pasa la malla no. 200

El porcentaje máximo del material que pasa la malla no. 200 (0.075 mm) en el agregado grueso, determinado mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.030, partículas más finas que la malla no. 200 (0.075 mm) en los agregados,

será del 2%. Sin embargo, en el caso de agregados triturados, si el material que pasa la malla no. 200, está constituido por el polvo producto de la trituración, exento de arcilla o pizarras, el contenido máximo podrá ser hasta de 3%.

8.1.4.2.2.2.3 Contenido de sustancias perjudiciales

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no será mayor que los límites indicados en la tabla 12. De no cumplir con los requisitos establecidos en esa tabla, el agregado grueso solo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio en condiciones similares de intemperismo, o tratándose de agregados gruesos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos a pruebas de sanidad, desgaste, congelación y deshielo, de acuerdo con los métodos descritos en los manuales M.MMP.2.02.028, sanidad de los agregados mediante sulfato de sodio o de magnesio, M.MMP.2.02.032, resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los Ángeles y M.MMP.2.02.060, resistencia del concreto a congelación y deshielo.

Tabla 12. Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	
En concreto no expuesto a la intemperie	10
En concreto expuesto a la intemperie	5
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo [1]	4
En concreto arquitectónico	2
Partículas de roca de sílice alterada, con densidad relativa del material seco, menor de 2.4 [2]	
En concreto expuesto a la intemperie [1]	
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad	6
En concreto arquitectónico	5
	3
Suma de los contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznales y de roca de sílice alterada	
En concreto expuesto a la intemperie	
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad	8
En concreto arquitectónico [1]	6
	4
Carbón y lignito	
En concreto no expuesto a la intemperie	1
En concreto expuesto a la intemperie	0.5

[1] para concreto hidráulico en regiones cuya altitud sea mayor de 3,000 m sobre el nivel del mar, este requisito se reducirá en 1%

[2] este requisito es aplicable a materiales que contengan roca sílice alterada como impureza. La limitación del uso de agregados gruesos que sean predominantemente roca de sílice, se basará en antecedentes de servicio en la región donde se emplee. La densidad relativa del material seco se determina mediante el procedimiento de prueba contenido en el manual M.MMP.4.04.003, densidades relativas y absorción de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

8.1.4.2.2.2.4 Reactividad con los álcalis del cemento

Si en el examen petrográfico realizado de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.037, examen petrográfico de los agregados, se detectan partículas de sílice reactivo o de carbonato reactivo y el agregado grueso se utilizará para la elaboración de concretos que estarán sujetos a la exposición prolongada en atmosfera húmeda o en contacto con suelos húmedos, dicho agregado cumplirá con lo indicado en el apartado 8.1.4.2.2.2.3.

8.1.4.2.2.2.5 Masa volumétrica

Los agregados gruesos de escoria de altos hornos, que cumplan con los requisitos de granulometría para ser utilizados en la elaboración de concreto, tendrán una masa volumétrica varillada no menor de $1,120 \text{ kg/m}^3$ y se determinara de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.023, masa volumétrica de los agregados pétreos.

8.1.4.2.2.2.6 Coeficiente volumétrico

Los agregados gruesos de origen natural, seleccionados u obtenidos mediante trituración y cribado, tendrán un coeficiente volumétrico o de forma no menor de 0.20, determinado conforme al método de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.022, coeficiente volumétrico de los agregados pétreos gruesos.

Los agregados gruesos de escoria tendrán un coeficiente volumétrico no menor de 0.15, conforme al método de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.022, coeficiente volumétrico de los agregados pétreos gruesos.

8.1.4.2.2.2.7 Intemperismo acelerado

El agregado grueso que se emplee en un concreto expuesto a la intemperie, tendrá una pérdida máxima en la prueba de intemperismo acelerado, en masa, del 12%, realizando la prueba con sulfato de sodio o 18% realizando la prueba con sulfato de magnesio, en una muestra que cumpla con los requisitos de granulometría indicados en el apartado granulometría y mediante el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.028, sanidad de los agregados mediante sulfato de sodio o magnesio.

De no cumplir con los requisitos establecidos en el inciso anterior, el agregado grueso solo podrá ser aceptado cuando un concreto de propiedades comparables, hecho con agregados similares del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio a juicio de la secretaria en condiciones similares de intemperismo, o tratándose de agregados gruesos de los que no se tengan antecedentes, cuando se obtengan con ellos resultados satisfactorios en concretos sujetos a pruebas de congelación y deshielo, de acuerdo con el método descrito en el manual M.MMP.2.02.060, resistencia del concreto a congelación y deshielo, verificando que los concretos obtenidos tengan una resistencia superior a la de proyecto.

8.1.4.2.2.2.8 Resistencia al desgaste

Los agregados gruesos probados al desgaste tendrán una pérdida, en masa, del 50% como máximo. dicha pérdida se determinará en una muestra de agregados cuyo tamaño o tamaños nominales sean lo más semejantes posible a los que se van a utilizar en la elaboración del concreto, mediante el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.032, resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los Ángeles. Cuando se empleen varias granulometrías, el límite de pérdida por desgaste se aplicará a cada una.

Como excepción, y a juicio de la secretaria, cuando el concreto se utilice para elementos estructurales que no estén sujetos a la abrasión, los agregados gruesos que tengan una pérdida al desgaste mayor que la indicada en el inciso anterior, podrán usarse siempre y cuando con dichos agregados se obtenga, como mínimo la resistencia indicada en el proyecto.

Los agregados gruesos probados al desgaste tendrán una pérdida, en masa, del 40% como máximo. En el caso de agregados gruesos para losas de carpetas de concreto hidráulico mediante el sistema de doble capa, tendrán una pérdida máxima, en masa, del 40% para la capa superior y de 50% para la capa inferior. La pérdida por desgaste se determinará en muestras de agregados cuyos tamaños nominales sean los que se van a utilizar en la elaboración del concreto, mediante el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.032, resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los Ángeles. Cuando se empleen varias granulometrías, el límite de pérdida por desgaste se aplicará a cada una.

Cuando el agregado grueso se vaya a constituir con materiales de diferente origen o naturaleza, se efectuaran pruebas de desgaste a cada material como se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados, así como una prueba en una muestra constituida por esos materiales, mezclados en la misma proporción en que se utilizarán en el concreto hidráulico; en todos los casos los agregados gruesos, separados y mezclados, cumplirán con lo indicado en el inciso anterior.

Los agregados gruesos tendrán una resistencia al pulimento acelerado en estado húmedo después de 9 horas de pulido de al menos 30, determinada de acuerdo con el procedimiento de prueba contenido en la norma TEX-438-A, Accelerated polish test for coarse aggregate del Departamento de Transporte de Texas.

8.1.4.2.2.3 Reactividad de los agregados finos y gruesos

Si en el examen petrográfico de los agregados finos o gruesos, realizando de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.037, examen petrográfico de los agregados, se detectan partículas de sílice reactivo, se considerara lo indicado en la tabla 13 como

criterio para la utilización o no de los agregados, para lo que se obtendrá la reactividad potencial de los mismo de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.035, reactividad potencial de los agregados mediante el método químico, verificando experimentalmente la expansión conforme al método de prueba de las barras de mortero indicado en el manual M.MMP.2.02.034, reactividad potencial de los agregados mediante barras de mortero. Si dichas pruebas demuestran que los agregados son inocuos, se podrán utilizar en el concreto sin limitaciones, pero si resultan deletéreos, se le someterá a una prueba de expansión mediante mortero hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, de acuerdo con el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.034, reactividad potencial de los agregados mediante barras de mortero. Si la expansión del concreto a 6 meses resulta igual a 0.05% o menor, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna; si es mayor que ese límite, pero menor de 0.1%, la utilización de los agregados se restringirá a concretos en condición de servicio seco o usando cemento con bajo contenido de álcalis, según se indica en el inciso I. Si la expansión es igual a 0.1% o mayor, los agregados solo podrán ser utilizados en concretos con cemento de muy bajo contenido de álcalis, según se indica en la fracción antes mencionada. En los dos últimos casos, los agregados también podrán ser utilizados si al cemento se le agrega una puzolana que inhiba la reacción álcali-sílice, según se indica en el inciso II.

Tabla 13. Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: no contienen sílice reactiva	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: contienen sílice reactiva	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba química a los agregados	agregados inocuos: no existen reacción álcali-sílice	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Agregados deletéreos o potencialmente deletéreos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en mortero a 6 meses	Expansión <0.05% agregados no reactivos	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		0.05%<expansión<0.1% agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (<0.6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión >0.1% agregados reactivos	Dato concluyente: uso muy restringido de los agregados, solo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (<0.4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera.

Si en el examen petrográfico de los agregados finos y gruesos, realizando de acuerdo con lo indicado en el manual M.MMP.2.02.037, examen petrográfico de los agregados, se

detectan partículas de carbonato reactivo, se considerara lo indicado en la tabla 14 como criterio para la utilización o no de los agregados, para lo que se obtendrá la reactividad potencial de los mismos mediante el método indicado en el manual M.MMP.2.02.036, reactividad de los agregados mediante el método del cilindro rosa. Si la expansión de la roca a 3 meses resulta menor de 0.1%, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna, pero si es igual a dicho límite o mayor, se le someterá a una prueba de expansión en concreto hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma ASTM C1105-08a (2016), Standard test method for length change of concrete due to alkali-carbonate rock reaction. Si la expansión de concreto 6 meses, resulta igual a 0.015% o menor, los agregados podrán ser utilizados sin restricción alguna; si es mayor que este límite, pero menor de 0.025%, la utilización de los agregados se restringirá a concretos en condición de servicio seco o usando cemento con bajo contenido de álcalis, según se indica en el inciso I. Si la expansión es igual a 0.025% o mayor, los agregados solo podrán ser utilizados en concretos con cemento de muy bajo contenido de álcalis, según se indica en la fracción antes mencionada. En los dos últimos casos, los agregados también podrán ser utilizados si al cemento se le agrega una puzolana que inhiba la reacción álcali-carbonato, según se indica en el inciso III.

Tabla 14. Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: no contienen carbonato reactivo	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: contienen carbonato reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba de expansión en cilindros de roca a 3 meses	Expansión <0.1% agregados no reactivos	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Expansión >0.1% agregados potencialmente reactivos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en concreto a 6 meses	Expansión <0.015% agregados no reactivos	Dato concluyente: uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		0.015%<expansión<0.025% agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (<0.6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión >0.025% agregados reactivos	Dato concluyente: uso muy restringido de los agregados, solo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (<0.4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera.

- I. Como se indica en las tablas 13 y 14, si los agregados son ligeramente reactivos, se podrán utilizar en un concreto elaborado con cemento de bajo contenido de álcalis, que tenga menos del 0.6% de dicho componente, pero si son francamente reactivos, solo se podrán utilizar si el concreto se elabora con un cemento de muy bajo contenido de álcalis, que tenga menos del 0.4% de ese componente, siempre y cuando, en ambos casos, el contenido total de álcalis en la mezcla de concreto no exceda de 3 kilogramos por cada m³ de concreto, considerando todos sus componentes. Si esto no se logra, se adicionará un material que neutralice la reactividad de los agregados, como la puzolana, según se indica en los incisos II y III.
- II. Cuando se requiera utilizar la puzolana para inhibir la reacción álcali-sílice de los agregados, se verificará su efectividad mediante pruebas de expansión en mortero hecho con un cemento de alto contenido de álcalis, la puzolana en cuestión y vidrio de boro silicato como agregado, según el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.038, efectividad de aditivos minerales para evitar una expansión excesiva del concreto. Solo se podrá utilizar la puzolana si la expansión del mortero a 6 meses resulta menor de 0.1%.
- III. Cuando se requiera utilizar puzolana para inhibir la reacción álcali-carbonato de los agregados, se verificará su efectividad mediante pruebas de expansión en concreto hecho con los agregados reactivos en cuestión y un cementante compuesto por el cemento de uso con la puzolana propuesta, según el procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.038, efectividad de aditivos minerales para evitar una expansión excesiva del concreto. Solo se podrá utilizar la puzolana si la expansión del concreto a 6 meses resulta menor de 0.025%.

Si después de hacer las pruebas a que se refieren a los incisos II y III, adicionando puzolana con capacidad inhibitoria para evitar el riesgo de una reacción deletérea álcali-agregado, la expansión resulta excesiva, se evaluarán las siguientes opciones:

- a) Cambiar la fuente de suministro
- b) Efectuar una explotación selectiva del banco para desechar el material reactivo.
- c) Utilizar no más del 15% del total de los agregados de material reactivo, mezclándolo perfectamente con otro material con la finalidad de reducir su proporción.

- d) Seleccionar un cemento cuyo contenido de álcalis sea menor que los límites antes indicados, con la intención de producir una expansión tolerable del concreto conforme al método de prueba correspondiente.

8.1.4.2.2.3 Fragmentos de roca

8.1.4.2.2.3.1 Definición

Son los agregados con tamaño mayor a 75 mm y una masa máxima de 30 kg, como los boleos y la piedra braza, entre otros, que se utilizan comúnmente para fabricar concreto ciclópeo.

8.1.4.2.2.3.2 Requisitos de calidad

Los fragmentos que se utilicen para la elaboración de concreto ciclópeo, estarán limpios, exentos de costras y tendrán una masa máxima de 30 kg.

8.1.4.2.2.4 Agregado ligero

8.1.4.2.2.4.1 Definición

Son los agregados finos o gruesos que, por su baja densidad, se utilizan en la fabricación de concreto estructural ligero, de baja masa volumétrica y resistencia limitada a la compresión, constituidos predominantemente por materiales inorgánicos de estructura celular, preparados por expansión, calcinación o fusión incipiente de productos tales como escorias de altos hornos, arcillas comunes, diatomitas, cenizas volantes, lutitas y pizarras, o bien, mediante otros tratamientos de materiales naturales tales como piedra pómez, perlitas, tezontles, escorias y tobas.

8.1.4.2.2.4.2 Requisitos de calidad

8.1.4.2.2.4.2.1 Granulometría

La granulometría de los agregados ligeros, finos o gruesos, determinada mediante el procedimiento de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.020, granulometría de los agregados pétreos, estará comprendida entre los límites que se indican en la tabla 15.

Tabla 15. Límites granulométricos para agregados ligeros finos y gruesos

Malla		Fino	Grueso				
			Tamaño Nominal (mm)				
Abertura (mm)	Designación	5 a 0.15	25 a 13	25 a 5	20 a 5	13 a 5	10 a 2.5
		Porcentaje Retenido					
37.5	1 1/2	-	0	0	-	-	-
25	1	-	0	0	0	-	-
		-	-	-	-	-	-
19	3/4	-	-	-	0	0	-
		-	-	-	-	10	-
12.5	1/2	-	90	40	-	0	0
		-	-	-	-	-	-
9.5	3/8	-	100	75	-	10	-
		0	-	-	40	20	0
4.75	4	0	-	-	40	20	0
		-	-	-	80	60	20
4.75	4	0	-	90	90	80	60
		-	-	-	-	-	-

		15		100	100	100	95
2.36	8	-	-	-	-	90	80
						-	-
						100	100
1.18	16	20	-	-	-	-	-
		-					
		60					
0.3	50	65	-	-	-	-	-
		-					
		90					
0.15	100	75	-	-	-	-	-
		-					
		95					

8.1.4.2.2.4.2.2 Módulo de finura

El módulo de finura que corresponda a la granulometría a que se refiere al aparatado anterior, no será menor de 2.3 ni mayor de 3.2, con una tolerancia de variación de ± 0.02 respecto al valor del módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto. En el caso de que el módulo de finura sobrepase dicha tolerancia, se harán los ajustes necesarios en las proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica.

8.1.4.2.2.4.2.3 Contenido de sustancias perjudiciales

Los agregados ligeros finos no tendrán más de 2% de partículas deleznable, respecto a la masa seca de los agregados.

8.1.4.2.2.4.2.4 Contenido de impurezas orgánicas

El agregado ligero fino no tendrá impurezas orgánicas en cantidad tal, que produzcan una coloración más oscura que la de la solución normalizada no. 3, determinada con el método de prueba indicado en el manual M.MMP.2.02.026, impurezas orgánicas en agregados finos. Si el agregado ligero fino no cumple con este requisito, se podrá emplear, siempre y cuando se demuestre, que la coloración es causada principalmente por la presencia de pequeñas cantidades de materiales que no perjudican al concreto.

En la prueba de manchado, si los resultados quedan en la clasificación de mancha intensa o con grado mayor mediante la prueba visual, los agregados se probarán por el procedimiento químico, debiendo ser el resultado no mayor de 1.5 miligramos de óxido férrico (Fe_3O_3). este requisito se establece para definir el grado de manchado que se puede esperar con el uso de agregados ligeros que contengan compuestos de hierro que puedan ocasionar manchas en la superficie del concreto.

8.1.4.2.2.4.2.5 Masa volumétrica

La masa volumétrica seca y suelta de los agregados ligeros, finos, gruesos o mezclados, no será mayor que la indicada en la tabla 16. La variación de la masa volumétrica de los diferentes lotes de agregados ligeros, no diferirá en más del 10% del valor fijado en el proyecto.

Tabla 16. Masas volumétricas máximas de los agregados ligeros

Tipo del agregado	Masa volumétrica seca y suelta máxima (kg/m³)
Fino	1120
Grueso	880
Fino y grueso combinados	1040

8.1.4.2.2.4.2.6 Pérdida por calcinación

Los agregados ligeros tendrán una pérdida por calcinación no mayor a 5% en masa, sin embargo, ciertos agregados procesados pueden ser de carácter hidráulico e hidratarse parcialmente durante su producción, lo que implica que la calidad del producto no se reduce; otros agregados pueden contener carbonatos inocuos o agua de cristalización que puede contribuir a la pérdida por calcinación, por lo que se tomará en consideración el tipo de material cuando se evalúe en términos de la pérdida por calcinación.

8.1.4.3 Agua

8.1.4.3.1 Definición

El agua es el componente que se utiliza para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento portland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumpla con los requisitos de calidad establecidos. En casos especiales, se podrá usar agua de mar.³

El agua de mezclado cumplirá con lo estipulado en la norma N.CMT.2.02.003, calidad del agua para concreto hidráulico.

8.1.4.3.2 Requisitos de calidad

El agua que se utilice para la elaboración del concreto hidráulico o mortero de cemento portland, excluyendo el agua de mar, cumplirá con los requisitos indicados en la tabla 17.

³ N.CMT.2.02.003/02 (2002); Libro Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad del Agua para concreto hidráulico.

Tabla 17. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua

Impurezas	Tipo de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2000	2000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas [1]; (finos de cemento y de agregados), máximo	50000	35000
Cloruros como Cl [2]		
Para concreto con acero de pres fuerzo y piezas de puentes [3], máximo	400	600
Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares [3], máximo	700	1000
Sulfato como SO_4^{2-} [2], máximo	3000	3500
Magnesio como Mg^{++} [2], máximo	100	150
Carbonatos como CO_3^{2-} , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO_2 , máximo	5	3
Álcalisis totales como Na^+ , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150	150

[4], máximo		
Potencial de hidrogeno (pH), mínimo	6	6.5

[1] se considera como agua reciclada, la que se usó en el lavado de unidades revolventoras de concreto, que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplea en la fabricación del concreto hidráulico y que contiene en suspensión un alto porcentaje de finos de cemento y de los agregados, sales solubles del cemento y aditivos.

[2] el agua que exceda los límites listados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrá emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, no excede dichos límites.

[3] cuando se utilice cloruro de calcio (CaCl_2) como aditivo acelerante, se tomará en cuenta la cantidad de este para no exceder el límite de cloruros indicado.

[4] el agua que no cumpla con el contenido máximo indicado se podrá usar siempre y cuando el agregado fino que se emplee en el concreto, probada conforme al procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.026, impurezas orgánicas en agregados finos, no produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada no. 3.

El agua que no cumpla con los límites indicados en la tabla anterior, podrá utilizarse siempre y cuando se demuestre que un concreto o mortero de propiedades comparables, hecho con agua del mismo origen, haya dado servicio satisfactorio, en condiciones similares de exposición.

Cuando sea imprescindible utilizar agua de mar, podrá emplearse únicamente para la fabricación y curado de concretos sin acero de refuerzo o presfuerzo, cuando así lo el proyecto.

8.1.4.4 Aditivos

8.1.4.4.1 Definición

Los aditivos químicos son materiales que se añaden al concreto inmediatamente antes o durante el mezclado, con el propósito de modificar convenientemente su comportamiento

en el estado fresco o de inducir mejoras en determinadas propiedades del concreto endurecido.⁴

Cuando se haga uso de aditivos, estos cumplirán con lo indicado en la norma N.CMT.2.02.004, calidad de aditivos químicos para concreto hidráulico, así como con las especificaciones establecidas por el fabricante para su uso, según sea el caso.

8.1.4.4.2 Clasificación

8.1.4.4.2.1 Aditivos reductores de agua

Se utilizan para disminuir la cantidad de agua de la mezcla, incrementar la resistencia del concreto reduciendo la relación agua/cemento, sin alterar su consistencia original, o bien para aumentar la trabajabilidad sin disminuir la resistencia.

8.1.4.4.2.2 Aditivos retardantes

Se utilizan para retardar el fraguado del concreto aumentando así el tiempo de manejo antes de su colocación.

8.1.4.4.2.3 Aditivos acelerantes

Se utilizan para acelerar el fraguado del concreto permitiendo incrementar la rapidez en alcanzar su resistencia.

⁴ N.CMT.2.02.004/18 (2018); Libro Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad de Aditivos Químicos para concreto hidráulico.

8.1.4.4.2.4 Aditivos reductores de agua y retardantes

Producen efectos combinados de los aditivos reductores de agua y retardantes.

8.1.4.4.2.5 Aditivos reductores de agua y acelerante

Producen efectos combinados de los aditivos reductores de agua y acelerante.

8.1.4.4.2.6 Aditivos de agua de alto rango

Proporcionan una reducción de agua mayor de la que producen los aditivos reductores de agua.

8.1.4.4.2.7 Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Proporcionan una reducción mayor de agua que los aditivos reductores de agua y se combinan con los efectos de los retardantes de fraguado.

8.1.4.4.2.8 Aditivos superplastificantes

Proporcionan un incremento mínimo de 9 cm en el revenimiento, para producir un concreto fluido con revenimiento superior a 19 cm, sin pérdida de cohesión ni retardo en el tiempo de fraguado.

8.1.4.4.2.9 Aditivos superfluidificantes y retardantes

Proporcionan un incremento mínimo de 9 cm en el revenimiento, para producir un concreto fluido con revenimiento superior a 19 cm, sin pérdida de cohesión y con retardo en el tiempo de fraguado.

8.1.4.4.2.10 Aditivos inclusores de aire

Se agregan al concreto durante su elaboración, con el fin de incorporar aire en él, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación y el sangrado.

8.1.4.4.2.11 Aditivos de comportamiento específico

Proporcionan una función distinta a las mencionadas anteriormente, sin alterar las propiedades del concreto, inhibiendo la corrosión, reduciendo la contracción o la reactividad álcali-sílice. Los aditivos de comportamiento específico se clasifican en los subtipos siguientes:

a) Inhibidores de corrosión

Aditivos que químicamente retardan la corrosión, reducen la tasa de corrosión o ambas.

b) Reductores de contracción

Propician la reducción de contracción en el concreto, que causa grietas en el mismo.

c) Reductores de la reactividad álcali-sílice (RAS)

Propician una reducción en el deterioro del concreto causado por la reacción álcali-sílice.

8.1.4.4.3 Requisitos de calidad

El concreto elaborado con alguno de los aditivos químicos reductores de agua; retardantes; acelerantes; reductores de agua y retardantes, o reductores de agua y acelerantes, descritos en los apartados 8.1.4.4.2.1 a 8.1.4.4.2.5, cumplirán con los requisitos establecidos en la tabla 18.

Tabla 18. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua, retardantes, acelerantes, y reductores de agua y retardantes [1]

Requisito	Reductor de agua	Retardante	Acelerante del Fraguado	Acelerante de resistencia	Reductor de agua y retardante
Contenido de agua a la mc*; %, máx. [2]	95	-	-	-	-
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la mc*; h:min					
inicial: no menos de	-	1:0 después	1:0 antes	-	1:0 después
no más de	**1:0 – 1:3	3:3 después	3:3 antes	3:0 después	3:3 después
final: no menos de	-	-	1:0 antes	-	-
no más de	**1:0 – 1:3	3:3 después	-	3:0 antes	3:3 después
Esfuerzo de compresión respecto a la mc*; %, mín. [3] [4]					
1 día	-	-	-	110	-

3 días	110	90	125	125	110
7 días	110	90	100	120	110
28 días	110	90	100	110	110
180 días	100	90	90	100	100
365 días	100	90	90	100	100
Esfuerzo de flexión respecto a la mc*; %, mín. [4]					
3 días	100	90	110	110	100
7 días	100	90	100	100	100
28 días	100	90	90	100	100
Proporción del cambio de longitud respecto a la mc* (pmp); %, máx. [5]	135	135	135	135	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la mc* (imp); %, máx. [5]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Factor de durabilidad relativa; %, mín. [6]	80	80	80	80	80

*mc = mezcla de control

**1:0 antes ni 1:3 después

[1] los valores de esta tabla asumen la aceptación de una variación normal en los resultados de las pruebas.

[2] el contenido de agua referido como porcentaje respecto de la mezcla de control, se calcula con base en las masas unitarias de la mezcla con el aditivo de prueba y de la mezcla de control.

[3] la finalidad del requerimiento de 90% de la resistencia a compresión para un concreto elaborado con aditivo retardante, es asegurar un nivel de comportamiento comparable con el del concreto de referencia.

[4] las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo estudio, a determinada edad de prueba, no serán menores de 90% de aquellas alcanzadas a cualquier edad de prueba anterior, con el propósito de asegurar que la resistencia a compresión y a flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba no decrezca con el tiempo. Estos límites son aplicables dependiendo del tipo de esfuerzo al que estará sujeto el elemento estructural donde se empleará el concreto.

[5] requisitos opcionales: los especímenes para deformaciones longitudinales consistirán en prismas hechos y probados de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010, industria de la construcción – concreto hidráulico – determinación de la variación en longitud de especímenes de mortero de cemento y de concreto endurecidos, excepto el periodo de curado, que serán de 14 días. Cuando el cambio de longitud de la mezcla de control (δ_{lmc}) sea igual que 0.03% o mayor, se aplicará el límite correspondiente a la proporción del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinada mediante la siguiente expresión: $pmp = (\delta_{lmp} \div \delta_{lmc}) \times 100$, donde δ_{lmc} es el cambio de longitud de la muestra de prueba. Si el cambio de longitud de la muestra de la mezcla de control (δ_{lmc}) es menor de 0.03%, se aplicará el límite correspondiente al incremento del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinado mediante la siguiente expresión: $imp = \delta_{lmp} - \delta_{lmc}$.

[6] este requisito es aplicable solo cuando el aditivo se utilice en un concreto con aire incluido que pueda estar expuesto a congelación y deshielo mientras se encuentre húmedo.

El concreto elaborado con alguno de los aditivos químicos reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango y retardantes, superplastificantes, o superfluidificantes y retardantes, descritos en los apartados 8.1.4.4.2.6 a 8.1.4.4.2.9, cumplirá con los requisitos establecidos en la tabla 19.

Tabla 19. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango, reductores de agua de alto rango y retardantes, superplastificantes, y superfluidificantes y retardantes [1]

Requisito	Reductor de agua	Retardante	Acelerante del Fraguado	Acelerante de resistencia	Reductor de agua y retardante
Contenido de agua a la mc*; %, máx. [2]	95	88	88	-	-
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la					

mc*; h:min					
inicial: no menos de	1:0 antes	-	1:0 después	-	1:0 antes
no más de	3:3 antes	**1:0 – 1:3	3:3 después	**1:0 – 1:3	3:3 antes
final: no menos de	1:0 antes	-	-	-	-
no más de	-	**1:0 – 1:3	3:3 después	**1:0 – 1:3	3:3 después
Esfuerzo de compresión respecto a la mc*; %, mín. [3] [4]					
1 día	-	140	125	90	90
3 días	125	125	125	90	90
7 días	110	115	115	90	90
28 días	110	110	110	90	90
180 días	100	100	100	90	90
365 días	100	100	100	90	90
Esfuerzo de flexión respecto a la mc*; %, mín. [4]					
3 días	110	110	110	90	90
7 días	100	100	100	90	90
28 días	100	100	100	90	90
Proporción del cambio de longitud respecto a la mc* (pmp); %, máx. [5]	135	135	135	135	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

mc* (imp); %, máx. [5]					
Factor de durabilidad relativa; %, mín. [6]	-	-	-	9	9

*mc = mezcla de control

**1:0 antes ni 1:3 después

[1] los valores de esta tabla asumen la aceptación de una variación normal en los resultados de las pruebas.

[2] el contenido de agua referido como porcentaje respecto de la mezcla de control, se calcula con base en las masas unitarias de la mezcla con el aditivo de prueba y de la mezcla de control.

[3] la finalidad del requerimiento de 90% de la resistencia a compresión para un concreto elaborado con aditivo retardante, es asegurar un nivel de comportamiento comparable con el del concreto de referencia.

[4] las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo estudio, a determinada edad de prueba, no serán menores de 90% de aquellas alcanzadas a cualquier edad de prueba anterior, con el propósito de asegurar que la resistencia a compresión y a flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba no decrezca con el tiempo. Estos límites son aplicables dependiendo del tipo de esfuerzo al que estará sujeto el elemento estructural donde se empleará el concreto.

[5] requisitos opcionales: los especímenes para deformaciones longitudinales consistirán en prismas hechos y probados de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010, industria de la construcción – concreto hidráulico – determinación de la variación en longitud de especímenes de mortero de cemento y de concreto endurecidos, excepto el periodo de curado, que serán de 14 días. Cuando el cambio de longitud de la mezcla de control (δl_{mc}) sea igual que 0.03% o mayor, se aplicará el límite correspondiente a la proporción del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinada mediante la siguiente expresión: $pmp = (\delta l_{mp} / \delta l_{mc}) \times 100$, donde δl_{mc} es el cambio de longitud de la muestra de prueba. Si el cambio de longitud de la muestra de la mezcla de control (δl_{mc}) es menor de 0.03%, se aplicará el límite correspondiente al incremento del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinado mediante la siguiente expresión: $imp = \delta l_{mp} - \delta l_{mc}$.

[6] este requisito es aplicable solo cuando el aditivo se utilice en un concreto con aire incluido que pueda estar expuesto a congelación y deshielo mientras se encuentre húmedo.

El concreto elaborado con alguno de los aditivos químicos inclusores de aire o de comportamiento específico, descritos en los apartados 8.1.4.4.2.10 y 8.1.4.4.2.11, cumplirá con los requisitos establecidos en la tabla 20.

Tabla 20. Requisitos de calidad para concretos con aditivos químicos inclusores de aire y de comportamiento específico [1]

Requisito	Inclusor de aire	Comportamiento específico
Tiempo de fraguado. Desviación aceptable respecto a la mc*; h:min		
inicial: no menos de	±1:1.5	-
no más de	-	**1:0 – 1:3
final: no menos de	±1:1.5	-
no más de	-	**1:0 – 1:3
Esfuerzo de compresión respecto a la mc*; %, mín. [2]		
1 día	90	-
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
180 días	90	90
365 días	90	90
Esfuerzo de flexión respecto a la mc*; %, mín. [2]		
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
Proporción del cambio de longitud respecto a la mc* (pmp); %, máx. [3]	120	135
Incremento del cambio de longitud respecto a la mc* (imp); %, máx. [3]	0.006	0.01
Factor de durabilidad relativa; %, min. [4]	80	80

*mc = mezcla de control

**1:0 antes ni 1:3 después

[1] los valores de esta tabla asumen la aceptación de una variación normal en los resultados de las pruebas.

[2] las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto que contiene el aditivo bajo estudio, a determinada edad de prueba, no serán menores de 90% de aquellas alcanzadas a cualquier edad de prueba anterior, con el propósito de asegurar que la resistencia a compresión y a flexión del concreto que contiene el aditivo bajo prueba no decrezca con el tiempo. Estos límites son aplicables dependiendo del tipo de esfuerzo al que estará sujeto el elemento estructural donde se empleará el concreto.

[3] requisitos opcionales: los especímenes para deformaciones longitudinales consistirán en prismas hechos y probados de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-173-ONNCCE-2010, industria de la construcción – concreto hidráulico – determinación de la variación en longitud de especímenes de mortero de cemento y de concreto endurecidos, excepto el periodo de curado, que serán de 14 días. Cuando el cambio de longitud de la mezcla de control (δl_{mc}) sea igual que 0.03% o mayor, se aplicará el límite correspondiente a la proporción del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinada mediante la siguiente expresión: $pmp = (\delta l_{mp} / \delta l_{mc}) \times 100$, donde δl_{mc} es el cambio de longitud de la muestra de prueba. Si el cambio de longitud de la muestra de la mezcla de control (δl_{mc}) es menor de 0.03%, se aplicará el límite correspondiente al incremento del cambio de longitud de la mezcla de prueba respecto a la mezcla de control determinado mediante la siguiente expresión: $imp = \delta l_{mp} - \delta l_{mc}$.

[4] este requisito es aplicable solo cuando el aditivo se utilice en un concreto con aire incluido que pueda estar expuesto a congelación y deshielo mientras se encuentre húmedo.

El sangrado del concreto elaborado con un aditivo inclusor de aire, no excederá en más de 2% al del espécimen de concreto hecho con resina de Vinsol neutralizado, elegido como agente patrón inclusor de aire.

Se podrá verificar cualquier aditivo suministrado en el campo para su uso, sea igual en su comportamiento y, en su caso, en su composición, al aditivo presentado como muestra, probado y aprobado previamente. Las pruebas previas para la aprobación de aditivos se harán usando el cemento, los agregados y el agua, propuestos para cada trabajo específico.

Los aditivos que contengan cloruros no se emplearán en concreto presforzado ni en concreto reforzado para losas de pavimentos, porque pueden acelerar la corrosión del acero.

El tipo de aditivo para concreto que se utilizará en la obra será de acuerdo con el establecido en el proyecto.

El muestreo de los aditivos para concreto y la determinación de las propiedades en el concreto como tiempo de fraguado, revenimiento, resistencia a la compresión, contenido de aire, resistencia a la tensión, variación de longitud y congelación y deshielo, se realizará mediante los procedimientos contenidos en los manuales que se señalan en la norma M.MMP.2.02.050, muestreo de aditivos para concreto y de materiales para curado.

8.2 Plástico

8.2.1 Definición

El polietileno es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translucido. Los diversos tipos de polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización.⁵

La estructura química del polietileno es $-(CH_2-CH_2-)_n$. Esta molécula está compuesta en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces de tipo covalente. La fuerza de los enlaces C-C y C-H es 347 KJ/mol y 414 KJ/mol respectivamente. Esta unidad básica se puede repetir indefinidamente para formar polietileno. El número de veces que se repita esta unidad básica depende del tipo de catalizador utilizando en la reacción química, la temperatura y la presión.

8.2.2 Clasificación

En forma general se puede clasificar tres tipos diferentes de polietileno de acuerdo a la densidad que presentan ya que esta es un buen indicativo del tipo de estructura que posee el polímero.

⁵ ROCA GIRÓN Iván Ernesto, 2005; Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)

8.2.2.1 Polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad, es un polímero de cadena ramificada. Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones por el mecanismo de radicales libres. Contiene sustituyentes alquilo, o pequeñas ramificaciones en la estructura de la cadena, dichas ramificaciones se producen durante el proceso de síntesis. Es un polímero con una densidad comprendida entre 0.910 g/cm^3 - 0.925 g/cm^3 ; es incoloro, inodoro y no tóxico. El polietileno de baja densidad se divide en: polietileno de baja densidad, polietileno lineal de baja densidad, polietileno de muy baja densidad y etil - vinil - acetato.

8.2.2.2 Polietileno de mediana densidad

El polietileno de media densidad, es un polímero con densidad comprendida entre 0.940 gr/cm^3 , que se emplea especialmente en la fabricación de tuberías.

8.2.2.3 Polietileno de alta densidad

El polímero de alta densidad, es un polímero con estructura lineal y muy pocas ramificaciones. Se obtienen por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores Ziegler - Natta o proceso Phillips, aunque existe un tercero utilizado, los catalizadores metallocenos, utilizados únicamente para obtener polietileno de ultra alta masa molecular (PEAD-UAPM o sus siglas en inglés UHMWPE). Es un polímero con densidad comprendida entre 0.941 g/cm^3 - 0.954 gr/cm^3 es incoloro, inodoro, no tóxico y resistente tanto a esfuerzos como a agentes químicos.

8.2.2.3.1 Clasificación del polietileno de alta densidad

Para la clasificación de los distintos tipos de polietileno de alta densidad, existen criterios que intervienen, como lo son: la densidad, contenido de monómeros, peso molecular, distribución de peso molecular, índice de fluidez y modificación. La clasificación que más se utiliza es la densidad, pues este parámetro es un buen indicativo de las cualidades entre los polietilenos, donde en general, con densidades altas, mayores propiedades mecánicas. De acuerdo a la densidad el polietileno de alta densidad se puede dividir en:

8.2.2.3.1.1 Polietileno de alta densidad

Es un polímero sintético, termoplástico, miembro de las poliolefinas obtenido a partir de una reacción conocida con el nombre de polimerización del polietileno elaborado a partir de etano, un componente del gas natural. El polietileno de alta densidad es semicristalino (70% - 80%), incoloro, inodoro, no tóxico, lácteo y se puede encontrar en todas las tonalidades transparentes y opacas.

8.2.2.3.1.1.1 Propiedades generales

Las propiedades del polietileno de alta densidad como las de cualquier otro polímero dependen fundamentalmente de su estructura, es decir, básicamente del peso molecular y cristalinidad.

a) Propiedades físicas

El polietileno de alta densidad tiene una densidad como se observa en la tabla siguiente de 0.941 g/cm^3 - 0.965 g/cm^3 ; presenta un alto grado de cristalinidad, siendo así un material opaco y de aspecto ceroso; la transmitancia de este plástico es de 0% a 40%, dependiendo del espesor. A continuación, se detalla las propiedades físicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 21. Principales propiedades físicas del polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm ³	0.941 – 0.965
Absorción	mg a 96h	<0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión al CEDE	N/mm ²	18 – 35
Elongación punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto ranurado		
A 20° C	Kj/m	No rompe -6
A -20° C	Kj/m	>5
Temperatura de defección		
1.86 N/mm ²	°C	50
0.45 N/mm ²	°C	75
resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

b) Propiedades químicas

La resistencia química de los polímeros a los reactivos inorgánicos tales como ácidos y álcalis son muy elevadas. Sin embargo, son vulnerables por algunos disolventes orgánicos, sobre todo si tienen similitud química con las unidades estructurales que lo forman. El ataque supone ablandamiento, hinchamiento, llegando a su disolución final. Los polímeros cristalinos presentan mayor resistencia a estos compuestos que los materiales amorfos de la misma composición química, como consecuencia del empaquetamiento entre cadenas que dificulta la penetración del disolvente u otros reactivos. A continuación, se detalla las propiedades químicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 22. Principales propiedades químicas del polietileno de alta densidad

Reactivo	Resistencia
Ácidos Concentrados	Buena
Ácidos Diluidos	Buena
Álcalisis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas Y Aceites	Aceptable
Halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable - Buena

c) Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material se refieren a su capacidad para soportar fuerzas, el modo como se deforman y ceden ante dichas fuerzas. Así las propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad dependen básicamente de su estructura, que comprende lo que es la distribución del peso molecular, el peso molecular y la cristalinidad. Pero también depende de factores externos como lo son la temperatura, entorno químico y el tiempo, entendido este último como medida de la rapidez con que se aplican fuerzas, así como de la duración. A continuación, se detalla las propiedades mecánicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 23. Principales propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Coeficiente de fricción		0.29
Dureza – Rockwell		D60 - 73 - Shore
Módulo de tracción	Gpa	0.5 - 1.2
Relación de Poisson		0.46
Resistencia a la tracción	MPa	15 - 40
Resistencia al impacto Izod	Jm-1	20 - 210

d) Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de los polímeros dependen en mayor grado de su estructura de lo que dependen las propiedades mecánicas. El comportamiento es distinto si se trata de un polímero amorfo, cristalino o semicristalino. El polietileno de alta densidad muestra un punto de fusión 130° C y 136° C, mientras que su temperatura de transición es de 25° C bajo cero. El calor específico del polietileno de alta densidad es de los mayores entre los termoplásticos y es altamente dependiente de la temperatura; conforme este se aproxima a la fusión de los cristales, el calor específico aumenta notoriamente, mostrando un máximo. A continuación, se detalla las propiedades térmicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 24. Principales propiedades térmicas del polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Calor específico	KJ.Kg-1.K-1	1.9
Conductividad térmica	a 23° C Wm-1k-1	0.45 – 0.52
Dilatación térmica	x10-6k-1	100 – 200
Temperatura máxima de utilización	°C	55 – 120
Temperatura de deflexión en caliente – 0.45 MPa	°C	75

e) Propiedades eléctricas

El polietileno de alta densidad consiste en largas cadenas unidas entre sí con enlace de tipo covalente y por ello es un excelente aislante eléctrico, es decir un material no conductor de la electricidad. Aunque tiene el inconveniente de almacenar cargas eléctricas estáticas, induciendo la aparición de “micro” arcos eléctricos que atraen el polvo y pueden provocar descargas. Estas cargas se almacenan por fricción, durante el uso, pero también se generan durante los procesos de fabricación. La permeabilidad eléctrica, o constante dieléctrica es una propiedad muy importante del polietileno de alta densidad que está relacionada con la polarización que puede crearse en él, cuando se le somete a un campo eléctrico. A continuación, se detalla las propiedades eléctricas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 25. Principales propiedades eléctricas de polietileno de alta densidad

Propiedades	Unidades	Valor
Constante dieléctrica	A 1 MHz	2.2 - 2.4
Factor de disipación	A 1 MHz	1×10^{-4} - 10×10^{-4}
Resistencia dieléctrica	Kv.mm-1	22
Resistencia superficial	Ohm/sq	1013
Resistividad de volumen	Ohmcm	1015 - 1018

f) Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas están relacionadas con la estructura molecular del polímero, así como con la cristalinidad y la homogeneidad del material. El polietileno de alta densidad es semicristalino, incoloro, inodoro, no tóxico, lácteo y se puede encontrar en todas las tonalidades transparentes y opacas. En el mercado este polímero se puede encontrar en cualquier color.

8.2.2.3.1.2 Polietileno de alta densidad alta masa molecular

La fabricación de este plástico puede ser por el método de Ziegler, Phillips o (fase gaseosa). Este polímero se diferencia del de alta densidad convencional por su peso molecular promedio, el cual se encuentra entre 200.000 g/g-mol y 500.000 g/g-mol. Otra manera de caracterizarlo es por su índice de flujo que es alrededor de 0.1 g/10 minutos, que es inversamente proporcional al peso molecular, por esta razón presenta mayor viscosidad en el procesamiento. Su densidad es de 0.944 g/cm^3 - 0.954 g/cm^3 .

8.2.2.3.1.2.1 Propiedades generales

El polietileno de alta densidad alta masa molecular presenta propiedades como: buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (40° C bajo cero a 120° C), impermeabilidad al agua y no guarda olores.

En cuanto a su resistencia química, esta es muy parecida a la presentada por el polietileno de alta densidad, pero el mayor peso molecular mejora este comportamiento, implicando mayor tiempo de exposición en pruebas estandarizadas, sin presentar fracturas; aunque su estructura y naturaleza no polar es la misma.

8.2.2.3.1.3 Polietileno de ultra alta masa molecular (PEAD-UAPM)

Este tipo de polietileno es de alta densidad y elevado peso molecular, alrededor de 3 a 6 millones de gramos por cada gramo-mol, es un termoplástico industrial semicristalino, blanquecino y realmente opaco. Debido a su alto peso molecular presenta propiedades especiales. Es un material muy difícil de procesar por su elevado peso molecular. Posee un índice de fluidez muy bajo por lo que es casi imposible usarlo en los métodos de transformación de plásticos como lo es soplado, inyección y extrusión.

8.2.2.3.1.3.1 Propiedades generales

Las propiedades del polietileno de ultra masa molecular son diferentes al de los dos tipos de polietilenos antes mencionados debido básicamente a su alto peso molecular. Esto provoca que sea mucho más cristalino y más denso provocando que sea bastante resistente a tal punto que pueda sustituir aplicaciones de algunos metales como es el caso del acero inoxidable.

a) Propiedades físicas

Entre sus propiedades físicas destaca que es ligeramente más denso que el polietileno de alta densidad, pero un pequeño cambio en esta propiedad provoca propiedades totalmente diferentes entre ambos. A tal punto que sus aplicaciones son distintas. A continuación, se detalla las propiedades físicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 26. Principales propiedades físicas del polietileno de ultra alta masa molecular

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm ³	0.942 - 0.954
Absorción	mg a 96h	<0.5
Contracción	%	1.5 - 3
Resistencia a la tensión al CEDE	N/mm ²	22 - 24
Elongación punto de ruptura	%	>800
Temperatura de defección		
1.86 N/mm²	°C	-
0.45 N/mm²	°C	66 - 68
Resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

b) Propiedades químicas

La resistencia al ataque de los agentes químicos es excelente, incluyendo a las sustancias oxidantes. No es resistente a los ácidos sulfúricos y nítricos concentrados. Algunos cuentan con la aceptación FDA, que les permite el contacto con alimentos. La exposición prolongada a la radiación ultravioleta (mayor a un año) degrada a este material como a otras poliolefinas, induciendo la aparición de grietas y la reducción del desempeño mecánico en casos muy extremos. A continuación, se detalla las propiedades químicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 27. Principales propiedades químicas del polietileno de ultra alta masa molecular

Reactivo	Resistencia
Ácidos concentrados	Aceptable
Ácidos diluidos	Buena
Álcalisis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y aceites	Aceptable
Halógenos	Aceptable - Buena
Hidrocarburos aromáticos	Mala

c) Propiedades mecánicas

La propiedad más importante del polietileno de ultra alta masa molecular, es la resistencia a la abrasión, que, junto con su resistencia a los impactos, son de las más elevadas entre los plásticos. Además, a su alta resistencia a la abrasión, este plástico mantiene una superficie de bajo coeficiente de fricción, dinámico y estático, que son significativamente inferiores a las presentadas por el acero y por la mayoría de plásticos. A continuación, se detalla las propiedades mecánicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 28. Principales propiedades mecánicas del polietileno de ultra alta masa molecular

Propiedades	Unidades	Valor
Coeficiente de fricción		0.1 – 0.2
Dureza – Rockwell		D50-70
Módulo de tracción	Gpa	0.2 – 1.2
Alargamiento a la rotura	%	500
Resistencia a la tracción	MPa	20 – 40
Resistencia al impacto Izod	Jm-1	1600

d) Propiedades térmicas

Las características de este plástico se pueden mantener de 269° C bajo cero a 90° C y niveles aún mayores en periodos cortos. La temperatura de fusión es de 138° C a 142° C, no presenta flujo: el plástico mantiene buena estabilidad a niveles tan altos como 200° C. A continuación, se detalla las propiedades térmicas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 29. Principales propiedades térmicas del polietileno de ultra alta masa molecular

Propiedades	Unidades	Valor
Calor específico	KJ.Kg-1.K-1	1.9
Conductividad térmica	a 23° C Wm-1k-1	0.42 – 0.51
Dilatación térmica	x10-6k-1	130 – 200
Temperatura máxima de utilización	°C	55 – 95
Temperatura de deflexión en caliente – 0.45 MPa	°C	69
Temperatura de deflexión en caliente – 1.80 MPa	°C	42

e) Propiedades eléctricas

El polietileno de ultra alta masa molecular es un excelente aislante eléctrico. A continuación, se detalla las propiedades eléctricas más importantes del polietileno de alta densidad.

Tabla 30. Principales propiedades eléctricas de polietileno de ultra alta masa molecular

Propiedades	Unidades	Valor
Constante dieléctrica	A 1 MHz	2.3
Resistencia dieléctrica	Kv.mm-1	900
Resistencia superficial	Ohm/sq	$10^3 - 10^{14}$
Resistividad de volumen	Ohmcm	5×10^{14}

8.2.2.3.1.4 Polietileno modificado por entrecruzamiento

Además de los tres polietilenos antes mencionados existe otro que es el polietileno entrecruzado, el cual tiene su estructura lineal alterada, en forma de red tridimensional entrelazada, similar a la que presentan los plásticos termófilos.

8.2.2.3.1.4.1 Propiedades generales

Debido al cambio en su estructura, el material eleva el valor de su resistencia a la deformación bajo carga dinámica, así como el esfuerzo al impacto a bajas temperaturas, y su resistencia a la fisuración bajo tensión en ambientes corrosivos.

Los polietilenos entrecruzados no funden ante la aplicación de elevadas temperaturas, solo reblandecen. Pueden soportar periodos tanto continuos como cortos de altas temperaturas. El polietileno de alta densidad tratado con este fin, se procesa en el método de inyección a temperaturas alrededor de 160° C y se entrecruza dentro del molde por arriba de los 230° C.

Tabla 31. Propiedades del polietileno entrecruzado

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad	g/cm ³	0.91 - 1.45
Absorción de agua	mg a 96h	0.01 - 0.06
Contracción	%	1.5 - 3
Resistencia a la tensión al CEDE	N/mm ²	2130
Elongación punto de ruptura	%	10 - 600
Temperatura de deflexión 1.86 N/mm²	°C	38 - 80

8.2.3 Aplicaciones en la industria

Las aplicaciones del polietileno de alta densidad son muy variadas, ya que, debido a sus propiedades fisicoquímicas, fácil procesamiento y costo bajo lo hacen el termoplástico más usado en nuestra sociedad.

Las aplicaciones que se le pueden dar van desde materiales de construcción, aislantes eléctricos, empaques, tuberías, botellas, juguetes, cajas, bolsas, tanques para agua, pista de patinaje, redes para pesca y chalecos antibalas. Esto no es más que una muestra de versatilidad que posee este plástico.

Las aplicaciones del polietileno de alta densidad se pueden clasificar de muchas formas, pero las más importantes son las siguientes:

a) Por el método utilizado para la fabricación del producto

Se encuentra la transformación por extrusión, inyección, soplado, reto moldeo, compresión y termo formado que son los métodos utilizados para la transformación del polietileno de alta densidad.

b) Por el tipo de polietileno utilizado

Se puede dividir en 4 tipos que son: polietileno de alta densidad, polietileno de alta densidad alta masa molecular, polietileno de ultra alta masa molecular y polietileno entrecruzado. Este tipo de clasificación es la más recomendada.

El problema en este tipo de clasificación es que se puede dar la posibilidad de que la fabricación de un producto se puede dar por más de un proceso de fabricación, incluso por tres métodos, provocando que se complique su clasificación.

Tabla 32. Resumen de las aplicaciones del polietileno de alta densidad

Sector de aplicación	Tipo de polietileno	Uso más común
Envase – Empaque	HDPE, HMW-HDPE, Polietileno entrecruzado	Botella, envase, frasco, bolsa, empaque, lamina, película de recubrimiento en general de materiales, películas para productos boil in bag
Industria eléctrica	HDPE, HMWPE, Polietileno entrecruzado	Aislantes de cables en general, media y alta tensión, alambre, conexiones, cuerpos de bobina, partes de motores eléctricos, interruptores y acopladores
Automotriz	HDPE	Contenedores para aceite y gasolina, conexiones, tanques para agua, tubos, mangueras
Construcción	HDPE, HMW-HDPE, Polietileno entrecruzado	Tuberías para conducción de agua, fluidos caliente y gases; tubos, accesorios, ducto para fibra óptica, protección de cables eléctricos, minería, instalaciones y desechos industriales
Tanques	HMW-HDPE	Tanques industriales para almacenar agua, materiales sólidos, ácidos, aceites y otros
Refacciones de maquinaria	HMWPE	Engranajes, estrellas, tornillos sin fin, espaciadores, placas de desgaste, bujes, levas y guías
Aplicaciones diversas	HDPE	Recubrimiento de sobres para correo, sacos para comestibles, bandejas, botes de basura, platos, redes, regaderas, tejidos técnicos, artículos de cordelería, tapices, cuerdas, cables, tinas de baño papa bebé cajas, juguetes
Aplicaciones especiales	HMWPE	En fundiciones, en aserraderos, minería, manejo de materiales en general como químicos, fibras, chalecos

		antibalas, pistas de patinaje
Polietileno reciclado	Reciclado	Bolsas de residuos, caños, madera plástica, para postes, marcos, film para agricultura, envases para productos de limpieza, recipientes para basura, cajas, tarimas, contenedores industriales, tuberías

8.2.4 Reciclaje

El polietileno de alta densidad es el plástico de mayor uso en el mundo, debido a sus excelentes propiedades. Es ligero, resistente tanto mecánicamente como químicamente, no se corroe, tiene bajo costo y sobre todo presenta la versatilidad de ser fabricado a medida de las necesidades del consumidor. Todas estas características hacen que el polietileno de alta densidad posee una larga vida, cualidad útil, cuando se usa, pero un problema cuando se quiera desechar. Es por ello que se deben de tener técnicas de tratamiento para este plástico. La más recomendada es la de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar). El problema radica en crear conciencia ecológica del impacto ambiental del uso descontrolado e irresponsable del polietileno de alta densidad por parte del consumidor. Mientras que para la industria constituye un reto, para hacer más eficiente su proceso y no generar desperdicios innecesarios.

8.2.4.1 Identificación del polietileno de alta densidad

El sistema de clasificación fue desarrollado por: the Society of the Plastics Industry (SPI) y ha sido adoptada por todo el mundo. Se basa en una simbología simple que permite en el proceso de recolección y reciclamiento, identificar y separar los diferentes productos. Está compuesto por tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y letras en la base. El símbolo es moldeado mediante un inserto o grabado, ya sea en el fondo del recipiente, o cerca de este, según permita la geometría del artículo.



Figura 1. Identificación del polietileno de alta densidad

8.2.4.2 Soluciones para minimizar los residuos plásticos

Existe un sistema que indica la forma de tratar los desechos, en ella se muestran las actividades a seguir tomando en cuenta lo que no se debe de considerar una sin antes haber agotado la anterior. Los pasos son los siguientes:

- a) Reducir
- b) Reutilizar
- c) Reciclar
- d) Recuperar
- e) Basura

La reducción se inicia desde el origen. Consiste en utilizar la menor cantidad posible de materiales que se vayan a desechar. Es por ello que se han desarrollado plásticos más resistentes, aditivos y procesos que permiten fabricar productos más livianos y de menor espesor. En este punto tienen mayor incidencia en la generación de desechos las fábricas que se dedican a la transformación de plástico consisten en aprovechar al máximo la vida útil de los productos a través de un sistema de retornabilidad, sin la necesidad de destruirlos o reciclarlos.

Reciclar debe ser la tercera opción y se realiza una vez que los productos ya no pueden ser utilizados para su objetivo original. Consiste en recolectar y separar el plástico del

resto de los residuos sólidos, para luego ser procesado y transformado en un nuevo producto.

El concepto de recuperar es la utilización de métodos químicos para obtener materias primas o energía a partir de desechos plásticos.

La última etapa en el tratamiento de residuos es la basura, que se define como cualquier objeto que ya no tiene uso o valor, y solo debe ser considerada cuando los productos hayan alcanzado su máximo uso y no se justifique su reciclamiento.

8.2.4.2.1 Tipos de reciclaje

Debido a la necesidad de encontrar soluciones para manejar los desechos plásticos, se han desarrollado diversas técnicas de reciclado, ya que como hay diferentes tipos de plásticos, la separación y reciclaje es distinta.

El reciclaje de plásticos puede ser físico, químico, térmico y en último caso disposición final en un relleno sanitario. La práctica de cualquier tipo de estos depende del resultado de un estudio de eco balance (análisis del ciclo de vida de un producto), que permita determinar qué tipo de reciclaje es el más adecuado medioambiental.

Para el polietileno de alta densidad el único que no se recomienda es el reciclaje químico, ya que económicamente y medioambientalmente no es factible. Es mucho mejor el reciclado mecánico y térmico.

8.2.4.2.1.1 Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico del polietileno de alta densidad consiste en la recepción y almacenaje de los materiales, selección del plástico o identificación, triturado del mismo a modo que el producto quede en forma de granza, para poder incorporarlo de nuevo a la cadena productiva, cerrando el círculo de producción limpia. Se recomienda un lavado del material previo a la selección del plástico con el objeto de eliminar impurezas que pueda afectar de sobremanera las propiedades de polietileno de alta densidad reciclado.

La etapa más importante es la selección del polietileno de alta densidad, que puede realizarse en el sitio del reciclado denominado “recolección selectiva” o lugares construidos con esa finalidad. Los diferentes métodos utilizados para la selección e identificación del polietileno de alta densidad ya han sido descritos anteriormente.

Este tipo de reciclaje no es destructivo como el reciclaje térmico y se recomienda cuando el polietileno de alta densidad se encuentra relativamente libre de contaminantes.

8.2.4.2.1.2 Reciclaje térmico

Es un método destructivo que consiste en la combustión del plástico, transformando los desechos en gases, cenizas y escorias. Esto con el objeto de obtener energía, ya que los plásticos son compuestos con un alto poder calorífico, como lo indica la tabla 33. Para realizar esta técnica, es preciso antes realizar estudios de eco balance, para determinar si este tipo de reciclaje es favorable.

Tabla 33. Contenido energético de diferentes plásticos

Producto	Energía (Kj/Kg)
Poliestireno	48.00
Polietileno	46.00
Polipropileno	40.00
Policloruro de vinilo	18.90
Gas natural	48.00
Fueloil	44.00
Hulla	29.00
Lignito	20.00
Cuero	18.90
Papel	16.80
Madera	16.00

Grasas	7.80
Conjunto de RSU	8.00

Para realizar esta técnica de recuperación de energía, es necesario tener un estricto control de la emisión de gases contaminantes, porque aun teniendo un control cuidadoso, se emiten productos gaseosos perjudiciales a la atmósfera. Las principales ventajas y desventajas del tratamiento térmico del polietileno de alta densidad se resumen en la tabla 34.

Tabla 34. Ventajas y desventajas del reciclado térmico del polietileno alta densidad

Tratamiento térmico	Ventajas	Desventajas
Polietileno de alta densidad	Favorece el control sanitario Elimina infecciones Reducción de volumen Recuperación de energía Recuperación de metales	Emisión de gases a la atmósfera Áreas próximas al centro de incineración Tecnología sofisticada Costo elevado Pérdida de productos útiles

8.2.4.2.1.3 Relleno sanitario

Es el último paso que se debe considerar, y solo se debe ser justificable cuando los anteriores hayan sido agotados. El relleno sanitario se define como un lugar legalmente autorizado donde la basura municipal se deposita y clasifica para su posterior entierro.

El terreno de un relleno sanitario tiene que ser grande y se debe preparar antes de su utilización con el objeto de evitar filtraciones de contaminantes en la tierra.

8.2.4.2.2 Propiedades del polietileno de alta densidad reciclado

Las resinas recicladas de polietileno de alta densidad pierden aproximadamente el 20% de sus propiedades con respecto a las resinas vírgenes, aunque esto se trata de evitar incorporando a la resina aditivos. Las propiedades que más se modifican son la densidad, resistencias a la tensión y elongación, relacionadas con el contenido de humedad y tipo de contaminante que presenten, esto se puede observar en la tabla 35.

El material procesado en condiciones óptimas, puede utilizar 25% de granulado combinado con el material virgen sin exponer la funcionalidad y calidad del producto. Los contaminantes que afectan el reciclado del polietileno de alta densidad son los siguientes:

- a) residuos de comida y polvo
- b) tintas y etiquetas
- c) elastómeros
- d) cobre

Tabla 35. Comparación de las propiedades del polietileno de alta densidad virgen y reciclado

Propiedad	PEAD Virgen	PEAD Reprocesado una vez
Índice de fluidez (g/10 min)	0.77	0.79
Densidad (g/cm³)	0.963	0.961
Módulo de flexión (Kg/cm²)	15.396	15.396
Resistencia al impacto Izod (kg cm/cm)	13	9
Resistencia a la tensión a la ruptura (kg/cm²)	155	175
Elongación (%)	555	613

Con el objeto de que la resina reciclada conserve sus propiedades, se mezcla con aditivos especiales, ya que de lo contrario se crearían problemas en su transformación, tal es el caso que la reducción del índice de fluidez origina que se presente ineficiencia en producción y mala calidad del producto recuperado. Se han desarrollado estabilizadores para el polietileno de alta densidad recuperado, para mantener el índice de fluidez constante durante las primeras cinco historias térmicas.

8.3 Uso de plástico reciclado en la fabricación de concreto hidráulico

De acuerdo a la investigación realizada por el ing. Armando palacios Santillán (2014), donde realiza la sustitución del agregado fino en diferentes porcentajes, determina que el PET no es viable como un componente del concreto hidráulico ya que no presenta adherencia en la mezcla, así como aumenta el consumo agua-cemento, lo que causa un incremento en el costo de la fabricación. Y por su parte en la revista de la construcción vol. 10 no. 3 (2011) los autores concluyen que la adición del PEAD en una mezcla de mortero se podría emplear en elementos que no soporten importantes cargas.

9 Capítulo III. Metodología de la investigación

9.1 Metodología

9.1.1 Análisis descriptivo

9.1.1.1 Zona de estudio

Se eligió como zona de estudio la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, por ser capital del estado y en donde se desarrolla mayor actividad comercial, además de ser una de las cinco ciudades del estado donde se encuentran plantas premezcladoras de concreto hidráulico, considerando que su área de influencia para surtir el producto es la más significativo comparada con las otras 4 ciudades que abastecen al estado de Chiapas.

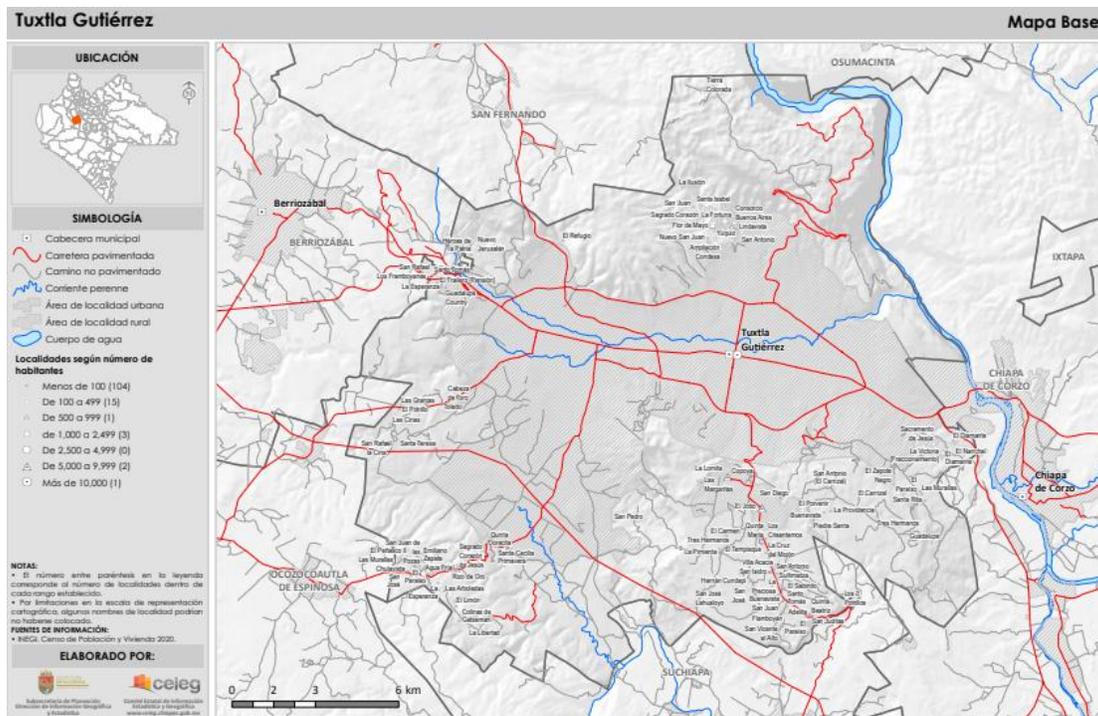


Figura 2. Zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

a) Fundación

En 1486 y 1505, los aztecas invadieron la región, destruyeron Coyatoc y le nombraron Tochtlán, que significa lo mismo; más tarde los españoles castellanizaron este nombre llamándolo Tuxtla.

b) Toponimia

Tuxtla Gutiérrez fue fundada por los indios zoques con el nombre de Coyatoc "lugar, casa o tierra de conejos", el nombre actual se deriva del náhuatl; al nombre de Tuxtla el apellido de Gutiérrez en honor a don Joaquín Miguel Gutiérrez, ilustre federalista.

c) Principales Hechos Históricos

En 1560 los frailes dominicos, encabezados por Antonio de Pamplona, fundan formalmente el pueblo de San Marcos evangelista Tuchtla en la margen derecha del río de los sabinos (Sabinal) con una aldea de indios zoques que se hallaba asentada en la llanura conocida con el nombre de "Tochtlan", pasando a pertenecer al convento de Tecpatlan.

En 1768 se crea la Alcaldía Mayor de Tuxtla, con cabecera en el pueblo de San Marcos Tuxtla.

El 1796 nace Joaquín Miguel Gutiérrez, hijo predilecto de Tuxtla.

El 1 de enero se instala el primer Ayuntamiento Constitucional de Tuxtla.

En 1824 Joaquín Miguel Gutiérrez firma, en representación de la Villa de Tuxtla, el acta declaratoria de la federación de Chiapas a México.

El 31 de mayo de 1848 se agrega a la ciudad de Tuxtla el apellido Gutiérrez, en justo homenaje a Don Joaquín Miguel Gutiérrez.

El 8 de diciembre de 1913 se compone y se entona por primera vez el himno a Chiapas, letra del poeta José Emilio Grajales y música del teniente Miguel I. Vasallo.

De acuerdo con el Diario Oficial del Estado de Chiapas, número 299 del 11 de mayo de 2011, la regionalización de la entidad quedó conformada por 15 regiones socioeconómicas, dentro de las cuales el municipio de Tuxtla Gutiérrez está contenido en la Región I Metropolitana.

d) Ubicación

Se ubica en la Región Socioeconómica I METROPOLITANA. Limita al norte con San Fernando y Usumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla de Espinosa y Berriozábal. Las coordenadas de la cabecera municipal son: 16°45'11" de latitud norte y 93°06'56" de longitud oeste y se ubica a una altitud de 522 metros sobre el nivel del mar. Con una superficie territorial de 334.61 km² ocupa el 0.45% del territorio estatal.⁶

e) Población

Tiene una población de 604,147 habitantes (10.89%) de la población total del estado de acuerdo con los resultados del censo de INEGI 2020.⁷

f) Clima

Los climas existentes en el municipio son: cálido subhúmedo con lluvias de verano, menos húmedo (99.97%), cálido subhúmedo con lluvias de verano, humedad media (0.03%), semicálido subhúmedo con lluvias de verano y humedad media (0%). En los meses de mayo a octubre, las temperaturas mínimas promedio se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera: de 15° C a 18° C (7.22%), de 18° C a 21° C (92.46%) y de 21° C a 22.5° C (0.33%). En tanto que las máximas promedio en este periodo son: de 27° C a 30° C (9.16%), de 30° C a 33° C (80.7%) y de 33° C a 34.5° C (10.14%). Durante los meses de noviembre a abril, las temperaturas mínimas promedio se distribuyen porcentualmente de la siguiente manera: de 12° C a 15° C (98.28%) y de 15°

⁶ Gobierno del Estado de Chiapas. Carta Geográfica de Chiapas 2021.

⁷ INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por localidad (ITER). INEGI. Marco Geo estadístico. Censo de Población y Vivienda 2020.

C a 18° C (1.72%). Mientras que las máximas promedio en este mismo periodo son: de 24° C a 27° C (6.97%), de 27° C a 30° C (47.24%) y de 30° C a 33° C (45.79%). En los meses de mayo a octubre, la precipitación media es: de 900 mm a 1000 mm (91.41%) y de 1000 mm a 1200 mm (8.59%). En los meses de noviembre a abril, la precipitación media es: de 25 mm a 50 mm (67.65%), de 50 mm a 75 mm (16.93%), de 75 mm a 100 mm (7.6%), de 100 mm a 125 mm (2.36%), de 125 mm a 150 mm (2.91%) y de 150 mm a 200 mm (2.55%).

g) Vegetación

La cobertura vegetal y el aprovechamiento del suelo en el municipio se distribuye de la siguiente manera: Selva baja caducifolia (secundaria) (32.28%), Agricultura de temporal (29.18%), No aplicable (29.09%), Pastizal inducido (3.52%), Pastizal cultivado (1.65%), Bosque de encino (secundaria) (1.43%), Sin vegetación aparente (1.26%), Selva mediana subperennifolia (secundaria) (0.88%) y Selva baja caducifolia (0.71%).

h) Edafología

Los tipos de suelos presentes en el municipio son: Leptosol (35.37%), Regosol (18.64%), Vertisol (18.31%), No aplica (16.3%) y Luvisol (11.38%).

i) Geología

Los tipos de roca que conforman la corteza terrestre en el municipio son: Caliza-Lutita (roca sedimentaria) (38.05%), Caliza (roca sedimentaria) (24.81%), Aluvial (suelo) (20.78%), Limolita-Arenisca (roca sedimentaria) (11.5%) y Lutita-Arenisca (roca sedimentaria) (4.88%).

j) Fisiografía

El municipio forma parte de las regiones fisiográficas Montañas del Norte, Depresión Central y Altos de Chiapas. La altura del relieve varía entre los 300 mts. y los 1,400 mts

sobre el nivel del mar. Llanura aluvial con lomerío (34.99%), Sierra alta de laderas tendidas (29.73%), Meseta típica (25.16%), Valle de laderas tendidas con lomerío (4.21%), Lomerío típico (3.85%) y Cañón típico (2.06%).

k) Hidrografía

El municipio se ubica dentro de las subcuencas Tuxtla Gutiérrez, R. Suchiapa, R. Alto Grijalva y R. Santo Domingo que forman parte de la cuenca R. Grijalva - Villahermosa.

Las principales corrientes de agua en el municipio son: Río Grijalva, Arroyo San Agustín y Arroyo El Sabinal; y las corrientes intermitentes: Arroyo De La Lanza, Arroyo El Recreo, Arroyo Limón, Arroyo Guadalupe, Arroyo San Francisco, Arroyo Yatipak, Arroyo Totopoztle, Arroyo Zapotal, Arroyo Grande y Arroyo El Sope.

l) Áreas naturales protegidas

El municipio cuenta con una superficie protegida o bajo conservación de 9,479.9 hectáreas, que representa el 28.33% del territorio municipal y el 0.13% del territorio estatal. Las áreas naturales protegidas de administración federal ubicadas en el municipio son: Área de Protección de Recursos Naturales Villa Allende (448.97 ha) y Parque Nacional Cañón del Sumidero (6,563.39 ha). Las áreas naturales protegidas estatales ubicadas en el municipio son: Zona Sujeta a Conservación Ecológica Cerro Mactumatzá (2,354.6 ha) y Centro Ecológico y Recreativo El Zapotal (127.43 ha).

9.1.2 Análisis técnico

La primera etapa comprende de una revisión bibliográfica con el fin de conocer las características y propiedades del cemento, agua y los agregados pétreos, así como del PEAD y su comportamiento con el concreto hidráulico, así como también, material referido a los avances teóricos de análisis, normativas de diseño y resultados de concreto hidráulico ligero lo cual nos ayudó como un parámetro referencial para delimitar los distintos tipos de estudios con sus esquemas de investigación con lo que se puede

subrayar que esta investigación es un proyecto factible ya que plantea dar una respuesta real, caso contrario al proyecto científico que solo pretende un acercamiento hipotético o teórico.

Como concepto de lo que es un proyecto factible, se puede mencionar que “consiste en una investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones de grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.”

Se determinó la revisión de las normas vigentes sobre pruebas de calidad de los agregados para concreto empleado en la construcción, analizando las propuestas de la American society for testing and materials (ASTM), las de la secretaria de infraestructura, comunicaciones y transportes (SICT), Normas oficiales mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas ONNCCE (NMX).

En el desarrollo de cada una de las técnicas, se realizó la caracterización física de los agregados considerados en el diseño del concreto hidráulico para la construcción, en la que intervinieron dos factores importantes de la zona de estudio y las pruebas consideradas para medir las propiedades físicas del concreto, tanto de sus agregados como de su estado fresco y endurecido.

Obtenida las propiedades físicas de los agregados, se diseñó conforme al método propuesto por el American Concrete Institute (ACI) a través de su comité 211.1, el proyecto de mezcla para cada alternativa planteada.

Se realiza la fabricación de cada mezcla de concreto hidráulico, y se le aplican las pruebas necesarias una vez fresco y endurecido, de acuerdo a la normativa empleada.

Concluidas las pruebas, se procedió al cálculo e interpretación de los resultados, utilizando las herramientas de la estadística descriptiva e inferencial para obtener los parámetros en el análisis.

Terminando el análisis y la interpretación de los resultados, se procede a verificar si la hipótesis planteada es correcta, de esta forma se plantean las conclusiones y recomendaciones específicas que sirvan para obtener resultados que conlleven a cumplir los objetivos del proyecto.

9.1.2.1 Revisión del marco teórico

Se determina en primera instancia cuáles serán las normas que regirán la metodología usada en las pruebas de calidad realizadas al agregado pétreo, al concreto hidráulico fresco y endurecido.

De acuerdo con la tabla 36 y la revisión de las normas, se concluye que las 3 normativas presentan similitud en las pruebas de calidad, por lo que para fines prácticos se empleara en la metodología las normas IMT-SICT, sumando algunas normas del ASTM, ya que no existen en las anteriores.

Tabla 36. Igualdad de la normativa aplicada al concreto hidráulico

Nombre de la prueba	Normas		
	IMT-SICT	NMX-ONNCCE	ASTM
Muestreo de los agregados	M.MMP.2.02.019/20	C-030-ONNCCE-2004 C-111-ONNCCE-2018	D 75
Granulometría de los agregados	M.MMP.2.02.020/18	C-077-ONNCCE-1997	C 136 - 01
Contenido de humedad de los agregados	M.MMP.1.04/03	C-166-ONNCCE-2018	C 566 - 97
Masa volumétrica de los agregados	M.MMP.2.02.023/18	C-073-ONNCCE-2004	C 29 - 97
Partículas más finas que la malla no. 200	M.MMP.2.02.030/18	C-084-ONNCCE-2016	C 117 - 95
Desgaste del agregado grueso	M.MMP.2.02.032/18	C-196-ONNCCE-2010	C 131 - 03
Densidad relativa y absorción del agregado grueso	M.MMP.4.04.003/18	C-164-ONNCCE-2014	C 128 - 01
Densidad relativa y absorción del agregado fino	M.MMP.4.04.003/18	C-165-ONNCCE-2014	C 128 - 00
Muestreo de concreto fresco	M.MMP.2.02.055/06	C-161-ONNCCE-2013	C 172 - 04
Revenimiento del concreto fresco	M.MMP.2.02.056/06	C-156-ONNCCE-2010	C 143 - 00

Temperatura del concreto fresco	-	C-435-ONNCCE-2010	C 1064 - 01
Elaboración de especímenes de concreto	M.MMP.2.02.055/06	C-159-ONNCCE-2016	C 192 - 91
Cabeceo de especímenes de concreto	M.MMP.2.02.058/04	C-109-ONNCCE-2013 C-469-ONNCCE-2013	C 617 - 15 C 1231 - 00
Resistencia a la compresión de especímenes de concreto	M.MMP.2.02.058/04	C-083-ONNCCE-2014	C 39 - 01

9.1.2.2 Recolección y tratamiento del material plástico

I. Recolección y selección

Se procedió a la recolección de los desechos plásticos por medio de campañas en la zona de estudio, siguiendo el siguiente plan:

- a) Se realizó una invitación a colonos de diferentes zonas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, donde se les invitaba a otorgar los residuos plásticos que estaban destinados a ser desechados.
- b) Se definió un centro de acopio donde se concentró la totalidad de los residuos provenientes de la recolección realizada cada semana en las diferentes zonas de la ciudad donde se realizó la invitación.
- c) Teniendo una totalidad de 100 kg de residuos plásticos acopiados, se seleccionó los marcados con el símbolo indicado en la figura 1 (2 PEAD), se procedió al tratamiento (limpieza de líquidos y eliminación de material no plástico como envoltorios y etiquetas), teniendo un total de 30 kg de residuos para emplear.
- d) Una vez separados, los residuos plásticos no marcados con el símbolo indicado en la figura 1 (2 PEAD), fueron colocados en los contenedores de basura para su recolección y procesamiento en la planta de la ciudad.

II. Trituración y tratamiento térmico

Una vez realizada la recolección, selección y limpieza, se procedió a la trituración del material plástico en 2 etapas, la primera mediante medios mecánicos para disminuir el tamaño y la segunda por medio de una licuadora convencional, esto para tener un material trabajable al momento de continuar el siguiente tratamiento. De las hojuelas trituradas, se tomaron 250 g y se calentaron en un horno convencional a temperatura máxima de uso indicado en la tabla 24, se vaciaron en un molde empleado para la prueba Porter, y empleando la metodología para pavimentos flexibles (método de diseño Marshall⁸), se creó una pastilla de 1" de espesor (se modificó la metodología Marshall, ya que cuando se realizó la pastilla de 2 1/2", el interior no se lograba enfriar y esta no se solidificaba adecuadamente a temperatura ambiente), una vez teniendo las pastillas en estado sólido, se procedían a realizar una segunda trituración por medio de una cortadora de banco, en el cual previamente las pastillas estaban marcadas de acuerdo a la granulometría que requerida. Este procedimiento se repitió hasta completar con los 29.75 kg restantes. Cabe señalar que, durante la trituración para la obtención de las partículas de diferentes medidas, se obtuvo un desperdicio del 10% en polvo, pasa la malla no. 4 (4.75 mm), es decir, 3 kg, por lo que este desperdicio de almaceno para su posterior utilización en las mezclas.

9.1.2.3 Caracterización de los materiales

Se determinaron las propiedades de los agregados pétreos, usando las normas M.MMP.1.04/03, contenido de agua; M.MMP.2.02.019/18, muestreo de agregados pétreos; M.MMP.2.02.020/18, granulometría de los agregados pétreos; M.MMP.2.02.023/18, masa volumétrica de los agregados pétreos; M.MMP.2.02.030/18, partículas más finas que la malla n°200 (0.075 mm) en los agregados; M.MMP.2.02.032/18, resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles; M.MMP.4.04.003/18, densidades relativas y absorción de materiales pétreos para mezclas asfálticas; una vez terminadas las pruebas se procede a reportar los resultados.

⁸ ANGUAS G. P., DEGALDO A. H., GÓMEZ L. J. A., ALONSO R. S. Y ALARCÓN O. H. A. (2004). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Publicación técnica no. 246, 03 - 44

9.1.2.4 Diseño de mezcla

Se determinó la dosificación a emplear, usando la norma ACI PRC-211.1-91, estudiando las propiedades de los agregados pétreos, la relación agua/cemento y la sustitución del agregado grueso mineral por el agregado grueso plástico, como se indica a continuación:

- I. El primer paso contempla la selección del revenimiento, cuando este no se especifica, el informe incluye una tabla (37) en la que se recomiendan diferentes valores de revenimiento de acuerdo con el tipo de construcción que se requiera. Los valores son aplicables cuando se emplea el vibrado para compactar el concreto, en caso contrario dichos valores deben ser incrementados en dos y medio centímetros.

Tabla 37. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo [1]	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.50	2.50
Vigas y muros reforzados	10.00	2.50
Columnas para edificios	10.00	2.50
Pavimentos y losas	7.50	2.50
Concreto masivo	7.50	2.50

[1] pueden incrementarse en 2.50 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado

- II. La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones

económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

- III. Como tercer paso, el informe presenta una tabla (38) con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.

Tabla 38. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

Revenimiento (cm)	Agua, (kg/m ³) concreto para TMG (Mm)							
	9.50	15.20	19.00	25.00	38.00	50.00	75.00	150.00
Concreto sin aire incluido								
De 2.50 a 5.00	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.50 a 10.00	2289	216	205	193	181	169	145	124
De 15.00 a 17.50	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximado de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.50	0.30	0.20
Concreto con aire incluido								
De 2.50 a 5.00	181	175	168	160	150	142	122	1074
De 7.50 a 10.00	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15.00 a 17.50	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Exposición moderada	6.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00

Exposición severa	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00
--------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

IV. Como cuarto paso, el informe proporciona una tabla (39) con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla (40) aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.

Tabla 39. Correspondencia entre la relación agua / cemento y la resistencia a la compresión del concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²)	Relación agua / cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Tabla 40. Relación agua / cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3	0.45	0.40

cm		
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

- V. El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres, y la relación agua cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.
- VI. Para el sexto paso del procedimiento en el informe maneja una tabla (41) con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, los valores dependen del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen de agregado se muestra en metros cúbicos con base en varillado en seco para un metro cúbico de concreto, el volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico de varillado en seco.

Tabla 41. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.50 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.50 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.50 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50.00 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75.00 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150.00 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

- VII. Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia; el informe proporciona una tabla (42) con los valores tentativos del peso de concreto fresco. Para este séptimo paso, es posible emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.

Tabla 42. Calculo tentativo del peso del concreto fresco

Tamaño máximo del agregado (mm)	Calculo tentativo del peso del concreto fresco (kg/m ³)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.50 (3/8")	2280	2200
12.50 (1/2")	2310	2230
19.00 (3/4")	2345	2275
25.00 (1")	2380	2290
37.50 (1 1/2")	2410	2350
50.00 (2")	2445	2345
75.00 (3")	2490	2405
150.00 (6")	2530	2435

- VIII. El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.
- IX. El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto, el informe proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

9.1.2.5 Fabricación y muestreo del concreto hidráulico

Se determinaron las propiedades del concreto fresco, usando las normas M.MMP.2.02.055/04, muestreo de concreto hidráulico; M.MMP.2.02.056/06 y revenimiento del concreto fresco; también se empleó la norma ASTM C 1064-01, método de ensayo normalizado para determinar la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado; una vez terminadas las pruebas se procede a reportar los resultados.

9.1.2.6 Prueba de resistencia a compresión del concreto hidráulico

Se determinaron las propiedades del concreto endurecido, usando la norma M.MMP.2.02.058/04, resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto; también se empleó la norma ASTM C 1231-00, uso de tapas no adheridas en la determinación del esfuerzo de compresión de cilindros de concreto; una vez terminadas las pruebas se procede a reportar los resultados.

9.1.2.7 Análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones

Se analizó a detalle los resultados obtenidos, demostrando las propiedades del concreto hidráulico de cada dosificación (4 en total, una de control y 3 mezclas de sustitución del agregado grueso mineral por plástico PEAD en base al 33%, 66% y 100%) examinando la trabajabilidad, densidad, resistencia a la compresión, etc., y con base en los resultados obtenidos de las pruebas ejecutadas se realizaron las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

9.2 Caracterización de los materiales

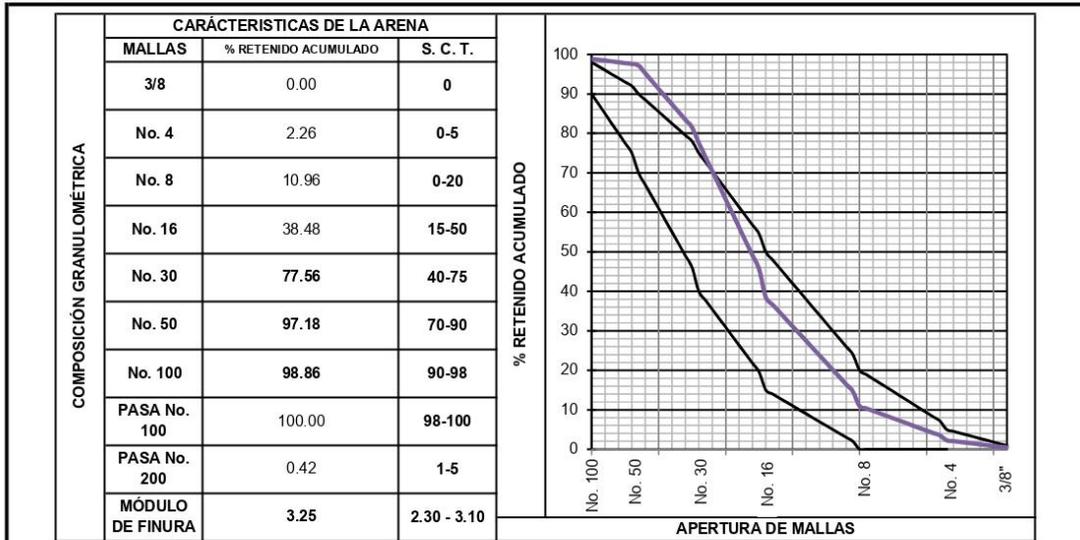
Se determina la composición granulométrica y propiedades del agregado fino, agregado grueso mineral y plástico, de acuerdo a las normas mencionadas en el apartado 9.1.2.3.

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO PARA CONCRETO HIDRÁULICO	CÓDIGO: FT - DPR - DCCO - 019		
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1	
		FECHA DE EMISIÓN: 05/10/2020		

OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR	MUESTRA No.	1
	CADENAMIENTO	LABORATORIO
	FECHA DE MUESTREO	05/10/2020
	FECHA DE INFORME	12/10/2022

EL FORMATO ESTÁ BASADO CONFORME A LA NORMA: M.MMP.2.02.019/20, M.MMP.2.02.020/18, M.MMP.2.02.030/18, M.MMP.1.04/03 Y M.MMP.4.04.003/18. LOS MANUALES DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SCT; ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.

MATERIAL PARA CAPA DE	CONCRETO HIDRÁULICO
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MATERIAL	ARENA DE RIO
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO	MATERIAL ALMACENADO EN BANCO DE MATERIALES
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO	
UBICACIÓN DEL BANCO	CARRETERA TUXTLA GUTIÉRREZ - LA ANGOSTURA KM. 17 DESV. DER.



CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTRICO					
DATOS DEL MUESTREO			INTEMPERISMO ACELERADO		
PESO VOL. SUELTO	1452.00	KG/M3	I. A. SULFATO DE SODIO	-	<10%
PESO VOL. COMPACTO	1516.00	KG/M3	I. A. SULFATO DE MAGNESIO	-	<15%
SUSTANCIAS PERJUDICIALES			PROPIEDADES FÍSICAS		
TERRONES DE ARCILLA	-	MÁX 1%	DENSIDAD	2.38	G/CM3
MAT. FINOS PASAN NO. 200	0.42	MÁX 3%-5%	ABSORCIÓN	2.28	%

OBSERVACIONES:

* LOS VALORES MEDIDOS (EXCEPTO LOS RETENIDOS EN LAS MALLAS NO. 30, NO. 50 Y NO. 100) CUMPLEN LOS PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, FINOS QUE PASAN LA MALLA NO. 200 Y MÓDULO DE FINURA (± 0.20) ESTABLECIDO EN LAS NORMAS VIGENTES APLICADAS POR LA SCT.

* LA MUESTRA PRESENTA UNA HUMEDAD DE 5.60%.

ELABORÓ	SUPERVISÓ	Vo.Bo.
Laboratorista	Jefe de Brigada	Jefe de Departamento

Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-8-73-80

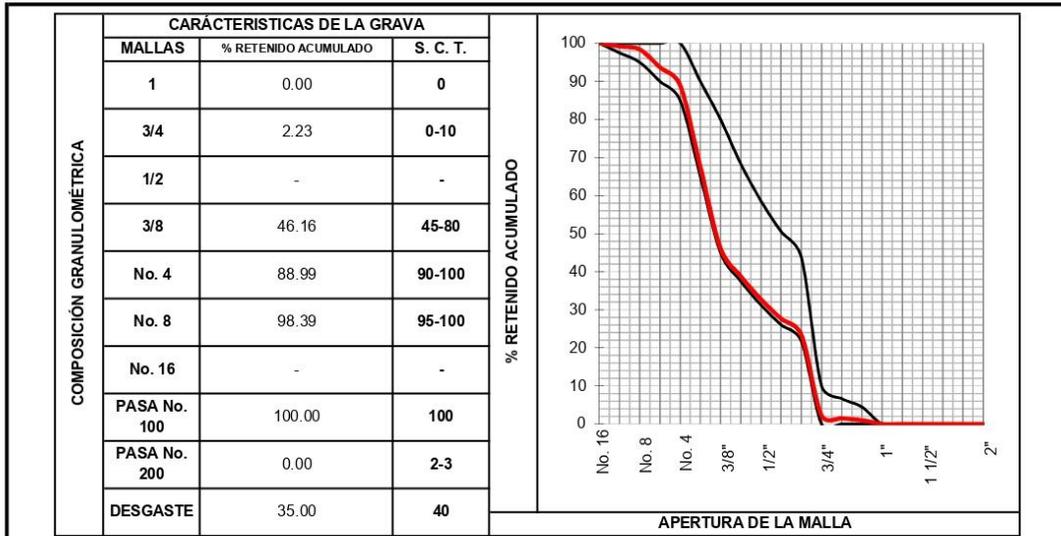
Figura 3. Caracterización del agregado fino mineral

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO HIDRÁULICO	CODIGO: FT - DPR - DCCO - 020		
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1	
		FECHA DE EMISIÓN: 05/10/2020		

OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR	MUESTRA No.	1
	CADENAMIENTO	LABORATORIO
	FECHA DE MUESTREO	05/10/2020
	FECHA DE INFORME	12/10/2022

EL REPORTE ESTA BASADO CONFORME A LAS NORMAS: M.MMP 2.02.019/20, M.MMP 2.02.020/18, M.MMP 2.02.030/18, M.MMP 2.02.032/18, M.MMP 1.04/03 Y M.MMP 4.04.003/18. LOS MANUALES DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (CMT) Y MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SCT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.

MATERIAL PARA	CONCRETO HIDRAULICO
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MATERIAL	ROCA TRITURADA
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO	MATERIAL ALMACENADO EN BANCO DE MATERIALES
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO	
UBICACIÓN DEL BANCO	CARRETERA TUXTLA GUTIÉRREZ - OCOZOCOAUTLA KM. 15 DESV. IZQ.



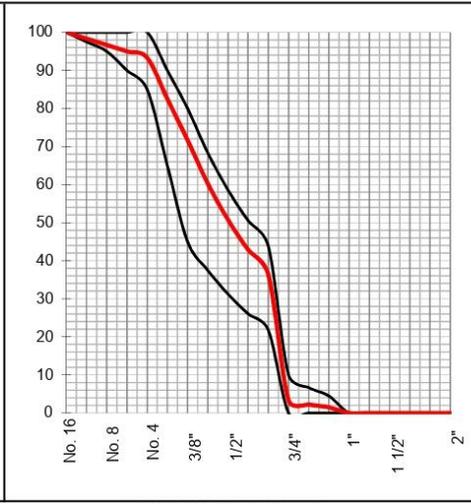
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO					
DATOS DEL MUESTREO			INTEMPERISMO ACELERADO		
PESO VOL. SUELTO	-	KG/M3	I. A. SULFATO DE SODIO	-	<12%
PESO VOL. COMPACTO	1560.00	KG/M3	I. A. SULFATO DE MAGNESIO	-	<18%
SUSTANCIAS PERJUDICIALES			PROPIEDADE FÍSICAS		
TERRONES DE ARCILLA	-	MÁX 4%	DENSIDAD	2.67	G/CM3
MAT. FINOS PASAN NO. 200	0.00	MÁX 2%-3%	ABSORCIÓN	0.75	%

OBSERVACIONES:
 * LOS VALORES MEDIDOS CUMPLEN LOS PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, FINOS QUE PASAN LA MALLA NO. 200 Y DESGASTE ESTABLECIDO EN LAS NORMAS VIGENTES APLICADAS POR LA SCT.
 * LA MUESTRA PRESENTA UNA HUMEDAD DE 0.20%.

ELABORÓ	SUPERVISÓ	Vo.Bo.
Laboratorista	Jefe de Brigada	Jefe de Departamento

Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-8-73-80

Figura 4. Caracterización del agregado grueso mineral

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO HIDRÁULICO	CODIGO: FT - DPR - DCCO - 020			
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1		
		FECHA DE EMISIÓN: 05/10/2020			
OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR				MUESTRA No. 1	
				CADENAMIENTO LABORATORIO	
				FECHA DE MUESTREO 05/10/2020	
				FECHA DE INFORME 12/10/2022	
EL REPORTE ESTA BASADO CONFORME A LAS NORMAS: M.MMP 2.02.019/20, M.MMP 2.02.020/18, M.MMP 2.02.030/18, M.MMP 2.02.032/18, M.MMP 1.04/03 Y M.MMP 4.04.003/18. LOS MANUALES DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (CMT) Y MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SCT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.					
MATERIAL PARA DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MATERIAL		CONCRETO HIDRAULICO			
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO		PLASTICO PEAD TRITURADO			
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO		MATERIAL ALMACENADO			
UBICACIÓN DEL BANCO		TRATAMIENTO TÉRMICO Y TRITURACIÓN MÉCANICA			
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	CARACTERÍSTICAS DE LA GRAVA				
	MALLAS	% RETENIDO ACUMULADO	S. C. T.		
	1	0.00	0		
	3/4	3.33	0-10		
	1/2	-	-		
	3/8	71.67	45-80		
	No. 4	93.33	90-100		
	No. 8	96.67	95-100		
	No. 16	-	-		
	PASA No. 100	96.67	100		
PASA No. 200	3.33	2-3			
DESGASTE	0.00	40			
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO					
DATOS DEL MUESTREO			INTEMPERISMO ACELERADO		
PESO VOL. SUELTO	-	KG/M3	I. A. SULFATO DE SODIO	-	<12%
PESO VOL. COMPACTO	501.79	KG/M3	I. A. SULFATO DE MAGNESIO	-	<18%
SUSTANCIAS PERJUDICIALES			PROPIEDADE FÍSICAS		
TERRONES DE ARCILLA	-	MÁX 4%	DENSIDAD	0.95	G/CM3
MAT. FINOS PASAN NO. 200	3.33	MÁX 2%-3%	ABSORCIÓN	0.00	%
OBSERVACIONES: * LOS VALORES MEDIDOS CUMPLEN LOS PARÁMETROS DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA Y DEGASTE, NO CUMPLEN LOS FINOS QUE PASAN LA MALLA NO. 200 ESTABLECIDO EN LAS NORMAS VIGENTES APLICADAS POR LA SCT. * LA MUESTRA PRESENTA UNA HUMEDAD DE 0.00%.					
ELABORÓ		SUPERVISÓ		Vo.Bo.	
Laboratorista		Jefe de Brigada		Jefe de Departamento	

Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-8-73-80

Figura 5. Caracterización del agregado grueso plástico

9.3 Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se tomaron varios criterios a considerar:

De acuerdo al reglamento de construcción para el municipio de Tuxtla Gutiérrez de 2017, en el título cuarto “servicios públicos municipales”, capítulo II “pavimentos”, en el artículo 46 que dice “corresponde a la secretaria de obras públicas la fijación del tipo de pavimento que deba ser colocado tanto en las nuevas áreas de la ciudad, como en aquellas en que habiendo pavimento sea renovado o mejorado” y en el artículo 47 explica que “solo se admitirán en las calles de Tuxtla Gutiérrez los pavimentos de tipo rígido, esto es, los de concreto hidráulico... la secretaria de obras públicas, fijara en cada caso particular, las especificaciones que deberán cumplir, los materiales a usarse en la pavimentación, indicando además los procedimientos de construcción, equipo y herramientas a usar y demás características”.

De acuerdo a los tabuladores de la secretaria de obras públicas del estado de Chiapas de 2018, en la parte de caminos en la sección concreto hidráulico, existe conceptos para obras de drenaje, losas, cimentaciones, guarniciones, pilas, diafragmas y estribos y en la parte de edificación en la sección concreto en calles y guarniciones.

Tabla 43. Clasificación de los concretos en el tabulador de caminos SOP 2018

Tipo	Elemento	Grupo	F’c mínimo (Kg/cm²)	F’c máximo (Kg/cm²)
Simple	Obra de drenaje	I	100	250
	Losas	II	100	300
	Zapatatas	III	100	450
	Cuerpo de pilas y estribos	IV	100	250
	Corona de pilas y estribos	V	150	300
	Trabes pres	VI	200	450

	forzados			
	Diafragmas	VII	150	300
Ciclópeo	Obra de drenaje	I	100	100
	Cimientos de pilas y estribos	II	100	150
	Cuerpos de pilas y estribos	III	100	150

Tabla 44. Clasificación de los concretos en el tabulador de edificación SOP 2018

Tipo	Elemento	F'c mínimo (Kg/cm²)	F'c máximo (Kg/cm²)
Simple	Firme	150	250
	Guarnición	150	150
	Dentellón	150	150

Por último, se procedió a verificar el tabulador de precios referenciales a costo directo para construcción, modernización y conservación de obras de infraestructura carretera de 2019, se encuentran 3 conceptos de losas de concreto hidráulico con juntas de diferentes MR.

Tabla 45. Carpeta de Concreto Hidráulico (N.CTR.CAR. 1.04.009/06)

Clave	Elemento	MR (Kg/cm²)	F'c (Kg/cm²)
1-04-009/06_070	Losa	42	263.97
1-04-009/06_080	Losa	45	302.01
1-04-009/06_090	Losa	48	344.78

De acuerdo a la investigación, las calles son de bajo flujo vehicular, además que los agregados son ligeros, a lo que el concreto hidráulico a emplear será de clase 2, es decir, menor de 24.50 MPa (250 kg/cm^2), por lo que se descarta el tabulador de la SCT.

Se tomará un $F'c$ de 249.99 kg/cm^2 para el diseño de la mezcla de concreto hidráulico.

Datos de los componentes de la mezcla de control

Cemento

Tipo: CPC

Peso específico: 3.00 g/cm^3

Agregado fino

Peso específico seco: 2.38 g/cm^3

Absorción: 2.28 %

Humedad: 5.60 %

Módulo de finura: 3.25

Agregado grueso

Tamaño máximo: 19 mm ($3/4$ " in)

Tamaño máximo nominal: $3/4$ " in

Peso específico seco: 2.67 g/cm^3

Absorción: 0.75 %

Humedad: 0.20 %

Peso volumétrico varillado seco: $1,560 \text{ kg/m}^3$

Desarrollo de diseño

Resistencia

$F'c = 249.99 \text{ kg/cm}^2$

Revenimiento (RV)

En base a la tabla 37 y considerando estructuras de pavimentos y losas (máximo = 7.50 cm – mínimo = 2.50 cm), se obtiene:

$$RV = (7.50 \text{ cm} + 2.50 \text{ cm}) / 2 = 5.00 \text{ cm}$$

Contenido de agua (CA)

En base a la tabla 38 y considerando los datos de los componentes de la mezcla del agregado grueso (19 mm) y revenimiento (5.00 cm), se obtiene:

$$CA = 190 \text{ kg/m}^3$$

Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto, sin aire incluido (AAC)

En base a la tabla 38 y considerando los datos de los componentes de la mezcla del agregado grueso (19 mm) y revenimiento (5.00 cm), se obtiene:

$$AAC = 2.00 \%$$

Relación agua-cemento (AC)

En base a la tabla 39 graficando los valores, obteniendo la expresión $y = 1.1497 * 10^{-0.002x}$, teniendo un error de -0.078 y con un $F'c = 249.99 \text{ kg/cm}^2$, se obtiene:

$$AC = 0.62$$

Contenido de cemento (CC)

De acuerdo al contenido de agua de la mezcla (190 kg/m^3) y a la relación agua-cemento (0.62), se obtiene:

$$CC = (190 \text{ kg/m}^3) / 0.62 = 306.45 \text{ kg/m}^3$$

Contenido de agregado grueso (CAG)

En base a la tabla 41 y considerando los datos de los componentes de la mezcla del agregado grueso (19 mm) y el módulo de finura del agregado fino (3.25), se tiene el siguiente resultado:

$$\text{CAG} = 0.60$$

En la tabla el módulo de finura mayor es 3.00, por lo que se toma el valor que le corresponde.

Por lo tanto, el peso de la grava (empleando el peso volumétrico varillado seco del agregado grueso)

$$\text{PVAG} = (0.60) * (1560 \text{ kg/m}^3) = 936.00 \text{ kg/m}^3$$

Peso del concreto fresco (PCF)

En base a la tabla 42, considerando los datos de los componentes de la mezcla del agregado grueso (19 mm), se tiene un cálculo tentativo del peso del concreto fresco:

$$\text{PCF} = 2345 \text{ kg/m}^3$$

Contenido de agregado fino

En base al peso volumétrico, se tiene:

$$\text{Agua} = 190.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 306.45 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Grava} = 936.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Total} = 1433.45 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, el peso volumétrico de la arena puede estimarse:

$$PVAFA = 2345 \text{ kg/m}^3 - 1433.45 \text{ kg/m}^3 = 912.55 \text{ kg/m}^3$$

Se determina el volumen absoluto

$$\text{Agua} = (190.00 \text{ kg/m}^3) / (1.00 \text{ kg/lts}) * (1\text{m}^3) = 190.00 \text{ lts}$$

$$\text{Cemento} = (306.45 \text{ kg/m}^3) / (3.00 \text{ kg/lts}) * (1\text{m}^3) = 102.15 \text{ lts}$$

$$\text{Grava} = (936.00 \text{ kg/m}^3) / (2.67 \text{ kg/lts}) * (1\text{m}^3) = 350.56 \text{ lts}$$

$$\text{Aire} = 20 \text{ lts}$$

$$\text{Total} = 662.71 \text{ lts}$$

Por lo tanto, el volumen de arena requerido puede estimarse:

$$\text{Arena} = (1000 \text{ lts}) - (662.71 \text{ lts}) = 337.29 \text{ lts}$$

Por lo tanto, el peso volumétrico de la arena puede estimarse:

$$PVAFA = (337.29 \text{ lts}) * (2.38 \text{ kg/lts}) * (1\text{m}^3) = 802.74 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 46. Comparación de los pesos por metro cúbico de concreto

Materiales	Peso estimado (Kg)	Volumen absoluto (Kg)
Agua	190	190
Cemento	306.45	306.45
Grava	936	936
Arena	912.55	802.74
Aire	20	20
Total en peso	2365	2255.20
Volumen total	1046.14	1000

Corrección por humedad y absorción de agregados para la humedad especificada

Humedad

$$\text{Arena} = (802.74 \text{ kg}) * (0.056) = 44.95 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = (936.00 \text{ kg}) * (0.002) = 1.87 \text{ kg}$$

Absorción

$$\text{Arena} = (802.74\text{kg}) * (0.028) = 18.30 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = (936.00\text{kg}) * (0.008) = 7.02 \text{ kg}$$

Corrección

$$\text{Arena} = 802.74 \text{ kg} + 44.95 \text{ kg} - 18.30 \text{ kg} = 829.40 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = 936.00 \text{ kg} + 1.87\text{kg} - 7.02 \text{ kg} = 930.85 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 190.00 \text{ kg} - 44.95 \text{ kg} + 1.87 \text{ kg} + 18.30 \text{ kg} + 7.02 \text{ kg} = 168.50 \text{ kg}$$

PROPORCION BASE

Tabla 47. Corrección por humedad y absorción

Materiales	Proporción teórica	Humedad		Absorción		Proporción real
		%	kg	%	kg	
Cemento	306.45					306.45
Arena	802.74	5.6	+ 44.95	2.28	+ 18.30	829.40
Grava	936	0.20	+ 1.87	0.75	+ 7.02	930.85
Agua	190		- 46.83		- 25.32	168.50
Total	2235.20					2235.20

El procedimiento anterior se realiza con las mezclas (b) grava mineral 66% y grava plástica 33%, (c) grava mineral 33% y grava plástica 66% y (d) grava plástica 100%, cabe mencionar que para las muestras b y c, y poder determinar el valor de las siguientes propiedades: Peso específico seco, Absorción, Humedad y Peso volumétrico varillado seco, se optó por seguir el siguiente criterio:

- El valor de cada propiedad es afectado por el porcentaje de cada tipo de material a emplear, una vez teniendo los valores resultantes de los productos, se determina que la suma de estos será el valor de la propiedad de la mezcla, con la que se realizará los cálculos para la dosificación del concreto hidráulico.

Tabla 48. Valores finales por peso de la dosificación de las 4 mezclas a, b, c y d

Materiales	Peso por metro cúbico (kg)						
	Mezcla de control (a)	Mezcla 66% - 33% (b) [2]		Mezcla 33% - 66% (c) [3]		Mezcla 100% (d) [4]	
		Mineral	Plástico	Mineral	Plástico	Mineral	Plástico
Agua	168.50	165.55		163.16		160.69	
Cemento [1]	306.45	306.45		306.45		306.45	
Grava	829.40	471.58	235.79	167.20	334.40	0.00	301.07
Arena	829.40	841.89		863.79		912.12	

Tabla 49. Valores finales por volumen de la dosificación de las 4 mezclas a, b, c y d

Materiales	Peso por metro cúbico (kg)						
	Mezcla de control (a)	Mezcla 66% - 33% (b) [2]		Mezcla 33% - 66% (c) [3]		Mezcla 100% (d) [4]	
		Mineral	Plástico	Mineral	Plástico	Mineral	Plástico
Agua	168.50	165.55		163.16		160.69	
Cemento [1]	306.45	306.45		306.45		306.45	
Grava	348.63	176.62	248.19	62.62	352.00	0.00	316.92
Arena	348.48	353.73		362.93		383.24	

[1] el cemento se toma como excepción para la dosificación por volumen, por lo que se presenta en Kg.

[2] se determina una proporción por volumen de acuerdo al porcentaje, es decir, grava mineral = $(714.51 \text{ kg}) * (0.66) / 2.67 \text{ kg/lts} = 176.62 \text{ lts}$ y PEAD = $(714.51 \text{ kg}) * (0.33) / 0.95 \text{ kg/lts} = 248.19 \text{ lts}$.

[3] se determina una proporción por volumen de acuerdo al porcentaje, es decir, grava mineral = $(506.67 \text{ kg}) * (0.33) / 2.67 \text{ kg/lts} = 62.62 \text{ lts}$ y PEAD = $(506.67 \text{ kg}) * (0.66) / 0.95 \text{ kg/lts} = 352.00 \text{ lts}$.

[4] se determina una proporción por volumen de acuerdo al porcentaje, es decir, PEAD = (301.07 kg) / 0.95 kg/lts = 316.92 lts.

9.4 Fabricación y muestreo de concreto hidráulico

Para la fabricación de concreto hidráulico, se emplearon el peso del cemento y los volúmenes de agua, agregado fino y agregado grueso de cada dosificación calculada (a, b, c y d), considerando que el tamaño de la muestra (que es una porción representativa de la mezcla de concreto fresco tal y como es entregado en obra) mínima de acuerdo a la norma M.MMP.2.02.055/06, muestreo de concreto hidráulico, es de 28 lts (0.0028 m³); por lo que del volumen mínimo, se tomó 10 lts (0.01 m³) para realizar el revenimiento, esto para determinar la consistencia o trabajabilidad del concreto, una vez terminado el procedimiento, la porción se regresó al total fabricado, remezclandola para lograr nuevamente la homogeneidad, así poder tomar la temperatura y después la elaboración de los cuatro especímenes de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro por mezcla dosificada, siguiendo el procedimiento indicado en la norma M.MMP.2.02.055/06, muestreo de concreto hidráulico.



Figura 6. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (a) 100% - 0%



Figura 7. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (b) 66% - 33%



Figura 8. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (c) 33% - 66%



Figura 9. Prueba de revenimiento y temperatura de la mezcla (d) 0% - 100%

9.5 Prueba de resistencia a compresión del concreto hidráulico

El esfuerzo de ruptura a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto y se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, por lo que llegado a las edades de ensayo (7, 14 y 28 días) de acuerdo a la norma ASTM C 39-01, determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, se retiran de la cámara de curado un espécimen de cada muestra fabricada, se continua el procedimiento de la prueba de acuerdo a la norma M.MMP.2.02.058/04, resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto, incluyendo en el apartado “cabeceo de especímenes” el procedimiento de la norma ASTM C 1231-00, uso de tapas no adheridas en la determinación del esfuerzo de compresión de cilindros de concreto, para cabecear los cilindros.

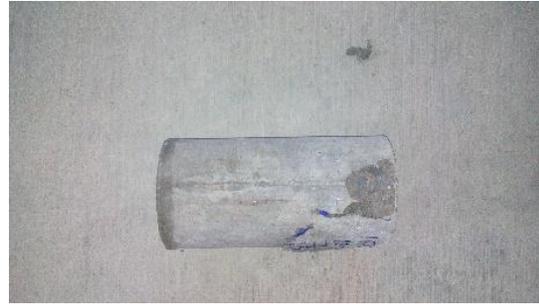


Figura 10. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 7 días



Figura 11. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 14 días



Figura 12. Prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) 28 días



Figura 13. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 7 días



Figura 14. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 14 días



Figura 15. Prueba a compresión simple de la mezcla b (66% - 33%) 28 días



Figura 16. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 7 días



Figura 17. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 14 días



Figura 18. Prueba a compresión simple de la mezcla c (33% - 66%) 28 días

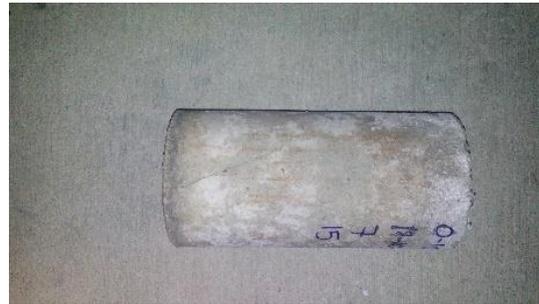


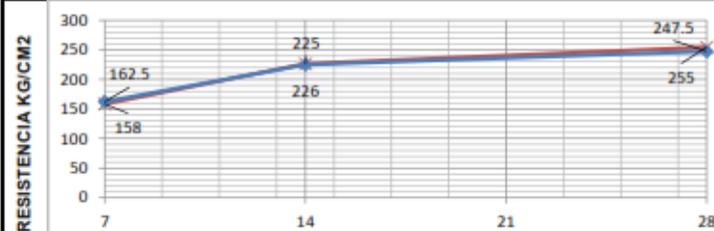
Figura 19. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 7 días



Figura 20. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 14 días

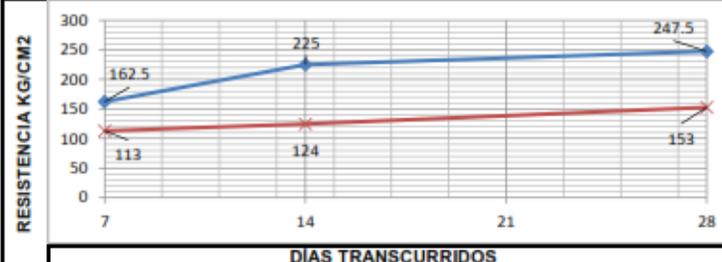
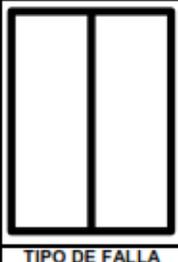


Figura 21. Prueba a compresión simple de la mezcla d (0% - 100%) 28 días

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE RESULTADOS DE ESPECIMENES DE CONCRETO	CODIGO: FT - DPR - DCCO - 016		 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE																																																																				
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1																																																																					
		FECHA DE EMISIÓN: 09/10/2020																																																																						
OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR				No. DE REPORTE 1																																																																				
				CADENAMIENTO LABORATORIO																																																																				
				FECHA DE MUESTREO 12/10/2020																																																																				
				FECHA DE INFORME 12/10/2022																																																																				
EL FORMATO ESTÁ BASADO CONFORME A LA NORMA: N MMP 2.02.055/05, N MMP 2.02.056/06 Y N MMP 2.02.058/04. LOS MANUALES DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SICT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.																																																																								
ELEMENTO ESTRUCTURAL FABRICACIÓN RESISTENCIA REVENIMIENTO TAMAÑO MÁX. AGREGADO	FIRME HECHO EN OBRA 250 KG/CM2 5 ± 1.5 CM 19 MM	TIPO DE CONCRETO PRESTACIÓN DEL CONCRETO CLASE DE CONCRETO ADITIVO EMPLEADO FECHA DE COLADO	NORMAL BAJA 1 NINGUNO lunes, 12 de octubre de 2020																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CLAVE</th> <th rowspan="2">REVENMTO (cm)</th> <th rowspan="2">FECHA DE ENSAYE</th> <th rowspan="2">CARGA DE RUPTURA (kgf)</th> <th colspan="4">RESISTENCIA (MPa)</th> <th colspan="2">ESFUERZO</th> </tr> <tr> <th>3 DÍAS</th> <th>7 DÍAS</th> <th>14 DÍAS</th> <th>28 DÍAS</th> <th>KG/CM2</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>4.50</td> <td>19/10/2020</td> <td>20,000.00</td> <td>-</td> <td>15.54</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>155.45</td> <td>63.36</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>4.50</td> <td>26/10/2020</td> <td>40,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>22.20</td> <td>-</td> <td>226.36</td> <td>90.54</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>4.50</td> <td>09/11/2020</td> <td>45,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>24.97</td> <td>254.65</td> <td>101.66</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)</td> <td>15.00</td> <td colspan="3">ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)</td> <td colspan="3">176.72</td> </tr> <tr> <td colspan="3">RELACION DE ESBELTEZ (L/D)</td> <td>2.00</td> <td colspan="3">FACTOR DE CORRECCION</td> <td colspan="3">1.00</td> </tr> </tbody> </table>	CLAVE	REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	KG/CM2	%	7	4.50	19/10/2020	20,000.00	-	15.54	-	-	155.45	63.36	14	4.50	26/10/2020	40,000.00	-	-	22.20	-	226.36	90.54	28	4.50	09/11/2020	45,000.00	-	-	-	24.97	254.65	101.66	DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72			RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00								
CLAVE					REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO																																																												
	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS				KG/CM2	%																																																															
7	4.50	19/10/2020	20,000.00	-	15.54	-	-	155.45	63.36																																																															
14	4.50	26/10/2020	40,000.00	-	-	22.20	-	226.36	90.54																																																															
28	4.50	09/11/2020	45,000.00	-	-	-	24.97	254.65	101.66																																																															
DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72																																																																	
RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00																																																																	
																																																																								
OBSERVACIONES: * LA MEZCLA ES UNA MEZCLA NORMAL. * LA MEZCLA PRESENTA UN REVENIMIENTO EN EL RANGO INDICADO EN LA NORMATIVA. * EL ESPÉCIMEN SOMETIDO A LA CARGA DE COMPRESIÓN SIMPLE A 28 DÍAS OBTUVO UNA RESISTENCIA DE 254.65 KG/CM ² , EL CUAL SE ENCUENTRA DENTRO DE LO SOLICITADO POR EL PROYECTO (250.00 KG/CM ²).																																																																								
ELABORÓ Laboratorista		SUPERVISÓ Jefe de Brigada		Vo.Bo. Jefe de Departamento																																																																				

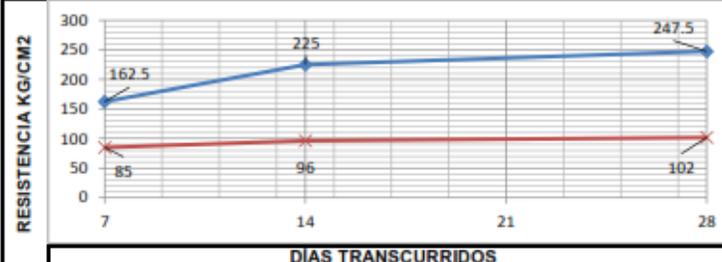
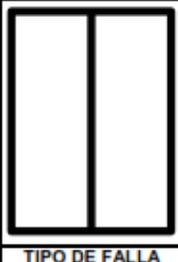
Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-5-73-80

Figura 22. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (100% - 0%) a 7, 14 y 28 días

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE RESULTADOS DE ESPECIMENES DE CONCRETO	CODIGO: FT - DPR - DCCO - 016		 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE																																																																				
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1																																																																					
		FECHA DE EMISIÓN: 09/10/2020																																																																						
OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR				No. DE REPORTE 1																																																																				
				CADENAMIENTO LABORATORIO																																																																				
				FECHA DE MUESTREO 12/10/2020																																																																				
				FECHA DE INFORME 12/10/2022																																																																				
EL FORMATO ESTÁ BASADO CONFORME A LA NORMA: N MMP 2.02.055/05, N MMP 2.02.056/06 Y N MMP 2.02.058/04. LOS MANUALES DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SCT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.																																																																								
ELEMENTO ESTRUCTURAL FABRICACIÓN RESISTENCIA REVENIMIENTO TAMAÑO MÁX. AGREGADO	FIRME HECHO EN OBRA 250 KG/CM2 5 ± 1.5 CM 19 MM	TIPO DE CONCRETO PRESTACIÓN DEL CONCRETO CLASE DE CONCRETO ADITIVO EMPLEADO FECHA DE COLADO	NORMAL BAJA 2 NINGUNO lunes, 12 de octubre de 2020																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CLAVE</th> <th rowspan="2">REVENMTO (cm)</th> <th rowspan="2">FECHA DE ENSAYE</th> <th rowspan="2">CARGA DE RUPTURA (kgf)</th> <th colspan="4">RESISTENCIA (MPa)</th> <th colspan="2">ESFUERZO</th> </tr> <tr> <th>3 DÍAS</th> <th>7 DÍAS</th> <th>14 DÍAS</th> <th>28 DÍAS</th> <th>KG/CM2</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>2.00</td> <td>19/10/2020</td> <td>20,000.00</td> <td>-</td> <td>11.10</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>113.15</td> <td>45.27</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>2.00</td> <td>26/10/2020</td> <td>22,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>12.21</td> <td>-</td> <td>124.50</td> <td>49.60</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>2.00</td> <td>09/11/2020</td> <td>27,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>14.98</td> <td>152.79</td> <td>61.12</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)</td> <td>15.00</td> <td colspan="3">ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)</td> <td colspan="3">176.72</td> </tr> <tr> <td colspan="3">RELACION DE ESBELTEZ (L/D)</td> <td>2.00</td> <td colspan="3">FACTOR DE CORRECCION</td> <td colspan="3">1.00</td> </tr> </tbody> </table>	CLAVE	REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	KG/CM2	%	7	2.00	19/10/2020	20,000.00	-	11.10	-	-	113.15	45.27	14	2.00	26/10/2020	22,000.00	-	-	12.21	-	124.50	49.60	28	2.00	09/11/2020	27,000.00	-	-	-	14.98	152.79	61.12	DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72			RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00								
CLAVE					REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO																																																												
	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS				KG/CM2	%																																																															
7	2.00	19/10/2020	20,000.00	-	11.10	-	-	113.15	45.27																																																															
14	2.00	26/10/2020	22,000.00	-	-	12.21	-	124.50	49.60																																																															
28	2.00	09/11/2020	27,000.00	-	-	-	14.98	152.79	61.12																																																															
DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72																																																																	
RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00																																																																	
																																																																								
OBSERVACIONES: * LA MEZCLA ES UNA SUSTITUCIÓN AL 33% DEL AGREGADO GRUESO MINERAL. * LA MEZCLA PRESENTA UN REVENIMIENTO INFERIOR AL INDICADO EN LA NORMATIVA. * EL ESPÉCIMEN SOMETIDO A LA CARGA DE COMPRESIÓN SIMPLE A 28 DÍAS OBTUVO UNA RESISTENCIA DE 152.79 KG/CM², EL CUAL SE ENCUENTRA DEBAJO DE LO SOLICITADO POR EL PROYECTO (250.00 KG/CM²).																																																																								
ELABORÓ Laboratorista		SUPERVISÓ Jefe de Brigada		Vo.Bo. Jefe de Departamento																																																																				

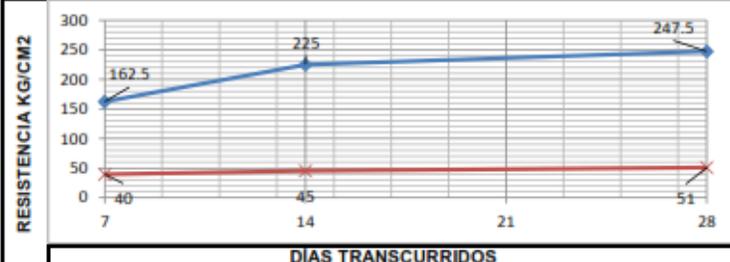
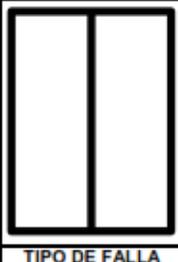
Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-5-73-80

Figura 23. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (66% - 33%) a 7, 14 y 28 días

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE RESULTADOS DE ESPECIMENES DE CONCRETO	CODIGO: FT - DPR - DCCO - 016		 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE																																																																				
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1																																																																					
		FECHA DE EMISIÓN: 09/10/2020																																																																						
OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR				No. DE REPORTE 1																																																																				
				CADENAMIENTO LABORATORIO																																																																				
				FECHA DE MUESTREO 12/10/2020																																																																				
				FECHA DE INFORME 12/10/2022																																																																				
EL FORMATO ESTÁ BASADO CONFORME A LA NORMA: N MMP 2.02.055/05, N MMP 2.02.056/06 Y N MMP 2.02.058/04. LOS MANUALES DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SCT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.																																																																								
ELEMENTO ESTRUCTURAL FABRICACIÓN RESISTENCIA REVENIMIENTO TAMAÑO MÁX. AGREGADO	FIRME HECHO EN OBRA 250 KG/CM2 5 ± 1.5 CM 19 MM	TIPO DE CONCRETO PRESTACIÓN DEL CONCRETO CLASE DE CONCRETO ADITIVO EMPLEADO FECHA DE COLADO	LIGERO BAJA 2 NINGUNO lunes, 12 de octubre de 2020																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CLAVE</th> <th rowspan="2">REVENMTO (cm)</th> <th rowspan="2">FECHA DE ENSAYE</th> <th rowspan="2">CARGA DE RUPTURA (kgf)</th> <th colspan="4">RESISTENCIA (MPa)</th> <th colspan="2">ESFUERZO</th> </tr> <tr> <th>3 DÍAS</th> <th>7 DÍAS</th> <th>14 DÍAS</th> <th>28 DÍAS</th> <th>KG/CM2</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>3.00</td> <td>19/10/2020</td> <td>15,000.00</td> <td>-</td> <td>6.32</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>64.66</td> <td>33.95</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>3.00</td> <td>26/10/2020</td> <td>17,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>9.43</td> <td>-</td> <td>96.20</td> <td>36.46</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>3.00</td> <td>09/11/2020</td> <td>18,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>9.99</td> <td>101.66</td> <td>40.74</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)</td> <td>15.00</td> <td colspan="3">ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)</td> <td colspan="3">176.72</td> </tr> <tr> <td colspan="3">RELACION DE ESBELTEZ (L/D)</td> <td>2.00</td> <td colspan="3">FACTOR DE CORRECCION</td> <td colspan="3">1.00</td> </tr> </tbody> </table>	CLAVE	REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	KG/CM2	%	7	3.00	19/10/2020	15,000.00	-	6.32	-	-	64.66	33.95	14	3.00	26/10/2020	17,000.00	-	-	9.43	-	96.20	36.46	28	3.00	09/11/2020	18,000.00	-	-	-	9.99	101.66	40.74	DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72			RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00								
CLAVE					REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO																																																												
	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS				KG/CM2	%																																																															
7	3.00	19/10/2020	15,000.00	-	6.32	-	-	64.66	33.95																																																															
14	3.00	26/10/2020	17,000.00	-	-	9.43	-	96.20	36.46																																																															
28	3.00	09/11/2020	18,000.00	-	-	-	9.99	101.66	40.74																																																															
DIÁMETRO DEL ESPECIMEN (CM)			15.00	ÁREA DEL ESPECIMEN (CM2)			176.72																																																																	
RELACION DE ESBELTEZ (L/D)			2.00	FACTOR DE CORRECCION			1.00																																																																	
																																																																								
OBSERVACIONES: * LA MEZCLA ES UNA SUSTITUCIÓN AL 66% DEL AGREGADO GRUESO MINERAL. * LA MEZCLA PRESENTA UN REVENIMIENTO INFERIOR AL INDICADO EN LA NORMATIVA. * EL ESPÉCIMEN SOMETIDO A LA CARGA DE COMPRESIÓN SIMPLE A 28 DÍAS OBTUVO UNA RESISTENCIA DE 101.66 KG/CM², EL CUAL SE ENCUENTRA DEBAJO DE LO SOLICITADO POR EL PROYECTO (250.00 KG/CM²).																																																																								
ELABORÓ Laboratorista		SUPERVISÓ Jefe de Brigada		Vo.Bo. Jefe de Departamento																																																																				

Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-5-73-80

Figura 24. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (33% - 66%) a 7, 14 y 28 días

 COMISIÓN DE CAMINOS E INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA GOBIERNO DE CHIAPAS	FORMATO DE RESULTADOS DE ESPÉCIMENES DE CONCRETO	CÓDIGO: FT - DPR - DCCO - 016		 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE																																																																				
		REVISIÓN: 01	PÁGINA: 1 DE 1																																																																					
		FECHA DE EMISIÓN: 09/10/2020																																																																						
OBRA ESTUDIO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO LIGERO A BASE DE PEAD RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO PARA LOSAS DE BAJO TRÁNSITO VEHICULAR				No. DE REPORTE 1																																																																				
				CADENAMIENTO LABORATORIO																																																																				
				FECHA DE MUESTREO 12/10/2020																																																																				
				FECHA DE INFORME 12/10/2022																																																																				
EL FORMATO ESTÁ BASADO CONFORME A LA NORMA: N MMP 2.02.055/05, N MMP 2.02.056/06 Y N MMP 2.02.058/04. LOS MANUALES DE MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP) VIGENTES Y APLICABLES DE LA SICT, ADEMÁS DEL EQUIPO EXISTENTE Y CALIBRADO EN LABORATORIO.																																																																								
ELEMENTO ESTRUCTURAL FABRICACIÓN RESISTENCIA REVENIMIENTO TAMAÑO MÁX. AGREGADO	FIRME HECHO EN OBRA 250 KG/CM ² 5 ± 1.5 CM 19 MM	TIPO DE CONCRETO PRESTACIÓN DEL CONCRETO CLASE DE CONCRETO ADITIVO EMPLEADO FECHA DE COLADO	LIGERO BAJA 2 NINGUNO lunes, 12 de octubre de 2020																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CLAVE</th> <th rowspan="2">REVENMTO (cm)</th> <th rowspan="2">FECHA DE ENSAYE</th> <th rowspan="2">CARGA DE RUPTURA (kgf)</th> <th colspan="4">RESISTENCIA (MPa)</th> <th colspan="2">ESFUERZO</th> </tr> <tr> <th>3 DÍAS</th> <th>7 DÍAS</th> <th>14 DÍAS</th> <th>28 DÍAS</th> <th>KG/CM²</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>7.50</td> <td>19/10/2020</td> <td>7,000.00</td> <td>-</td> <td>3.06</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>39.61</td> <td>15.65</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>7.50</td> <td>26/10/2020</td> <td>8,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>4.44</td> <td>-</td> <td>45.27</td> <td>18.11</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>7.50</td> <td>09/11/2020</td> <td>9,000.00</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>4.99</td> <td>50.93</td> <td>20.37</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td>DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (CM)</td> <td>15.00</td> <td colspan="2">ÁREA DEL ESPÉCIMEN (CM²)</td> <td colspan="3">176.72</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td>RELACION DE ESBELTEZ (L/D)</td> <td>2.00</td> <td colspan="2">FACTOR DE CORRECCIÓN</td> <td colspan="3">1.00</td> </tr> </tbody> </table>	CLAVE	REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO		3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS	KG/CM ²	%	7	7.50	19/10/2020	7,000.00	-	3.06	-	-	39.61	15.65	14	7.50	26/10/2020	8,000.00	-	-	4.44	-	45.27	18.11	28	7.50	09/11/2020	9,000.00	-	-	-	4.99	50.93	20.37				DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (CM)	15.00	ÁREA DEL ESPÉCIMEN (CM ²)		176.72						RELACION DE ESBELTEZ (L/D)	2.00	FACTOR DE CORRECCIÓN		1.00								
CLAVE					REVENMTO (cm)	FECHA DE ENSAYE	CARGA DE RUPTURA (kgf)	RESISTENCIA (MPa)				ESFUERZO																																																												
	3 DÍAS	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS				KG/CM ²	%																																																															
7	7.50	19/10/2020	7,000.00	-	3.06	-	-	39.61	15.65																																																															
14	7.50	26/10/2020	8,000.00	-	-	4.44	-	45.27	18.11																																																															
28	7.50	09/11/2020	9,000.00	-	-	-	4.99	50.93	20.37																																																															
			DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN (CM)	15.00	ÁREA DEL ESPÉCIMEN (CM ²)		176.72																																																																	
			RELACION DE ESBELTEZ (L/D)	2.00	FACTOR DE CORRECCIÓN		1.00																																																																	
																																																																								
OBSERVACIONES: * LA MEZCLA ES UNA SUSTITUCIÓN AL 100% DEL AGREGADO GRUESO MINERAL. * LA MEZCLA PRESENTA UN REVENIMIENTO SUPERIOR AL INDICADO EN LA NORMATIVA. * EL ESPÉCIMEN SOMETIDO A LA CARGA DE COMPRESIÓN SIMPLE A 28 DÍAS OBTUVO UNA RESISTENCIA DE 50.93 KG/CM ² , EL CUAL SE ENCUENTRA DEBAJO DE LO SOLICITADO POR EL PROYECTO (250.00 KG/CM ²).																																																																								
ELABORÓ Laboratorista		SUPERVISÓ Jefe de Brigada		Vo.Bo. Jefe de Departamento																																																																				

Calzada Samuel León Brindis 1330 Colonia Caminera C.P. 29090
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tel. (961) 61-5-73-80

Figura 25. Resultados de la prueba a compresión simple de la mezcla a (0% - 100%) a 7, 14 y 28 días

10 Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

10.1 Resultados de ensayo de resistencia a la compresión

Una vez realizado las pruebas correspondientes, se procede a registrar los resultados obtenidos para realizar el análisis y la comparativa correspondiente.

10.1.1 Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 0%

Tabla 50. Resultados del esfuerzo de la mezcla a (100% - 0%) 7, 14 y 28 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm ³)	Peso Vol. (Kg/m ³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm ²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm ²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm ²) [1]
1	12/10/2020	19/10/2020	4.5	25	7	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	28,000	158.45	32.60
1	12/10/2020	26/10/2020	4.5	25	14	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	40,000	226.36	38.96
1	12/10/2020	09/11/2020	4.5	25	28	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	45,000	254.65	41.33

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

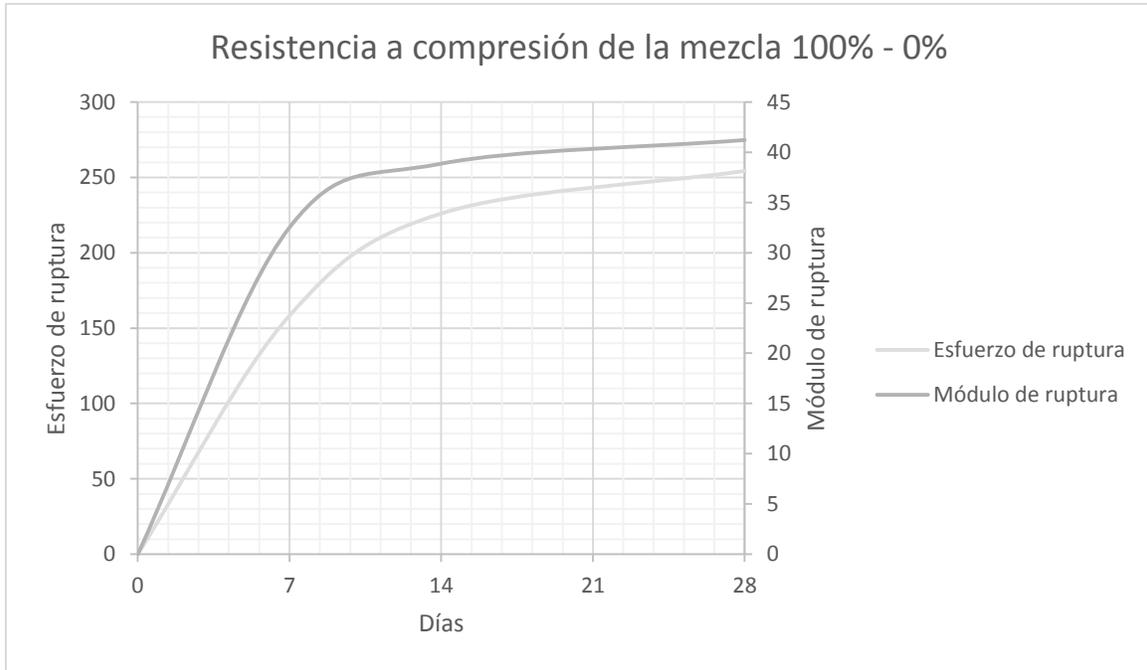


Figura 26. Resultados del esfuerzo de la mezcla a (100% - 0%) 7, 14 y 28 días

10.1.2 Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 33%

Tabla 51. Resultados del esfuerzo de la mezcla b (66% - 33%) 7, 14 y 28 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm³)	Peso Vol. (Kg/m³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm²) [1]
2	12/10/2020	19/10/2020	2	24	7	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	20,000	113.28	27.55
2	12/10/2020	26/10/2020	2	24	14	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	22,000	124.50	28.89
2	12/10/2020	09/11/2020	2	24	28	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	27,000	152.71	32.01

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

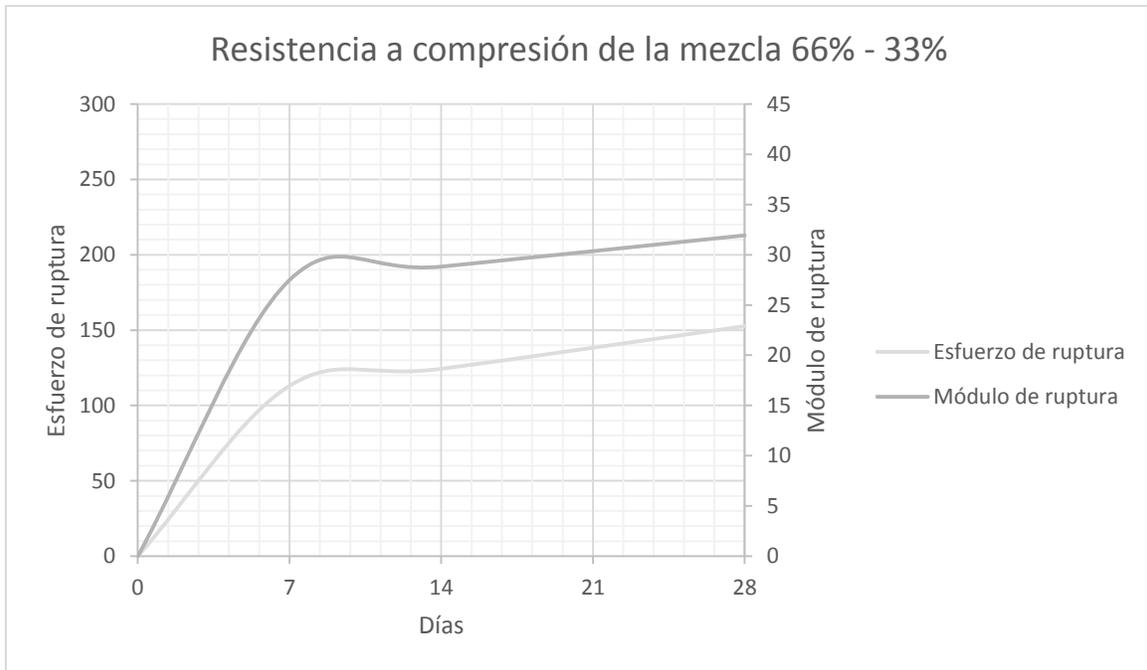


Figura 27. Resultados del esfuerzo de la mezcla b (66% - 33%) 7, 14 y 28 días

10.1.3 Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 66%

Tabla 52. Resultados del esfuerzo de la mezcla c (33% - 66%) 7, 14 y 28 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm3)	Peso Vol. (Kg/m³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm²)
3	12/10/2020	19/10/2020	3	24	7	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	15,000	84.88	23.86
3	12/10/2020	26/10/2020	3	24	14	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	17,000	96.20	25.40
3	12/10/2020	09/11/2020	3	24	28	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	18,000	101.86	26.13

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 \cdot \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 \cdot \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \cdot \sqrt{F'c}$

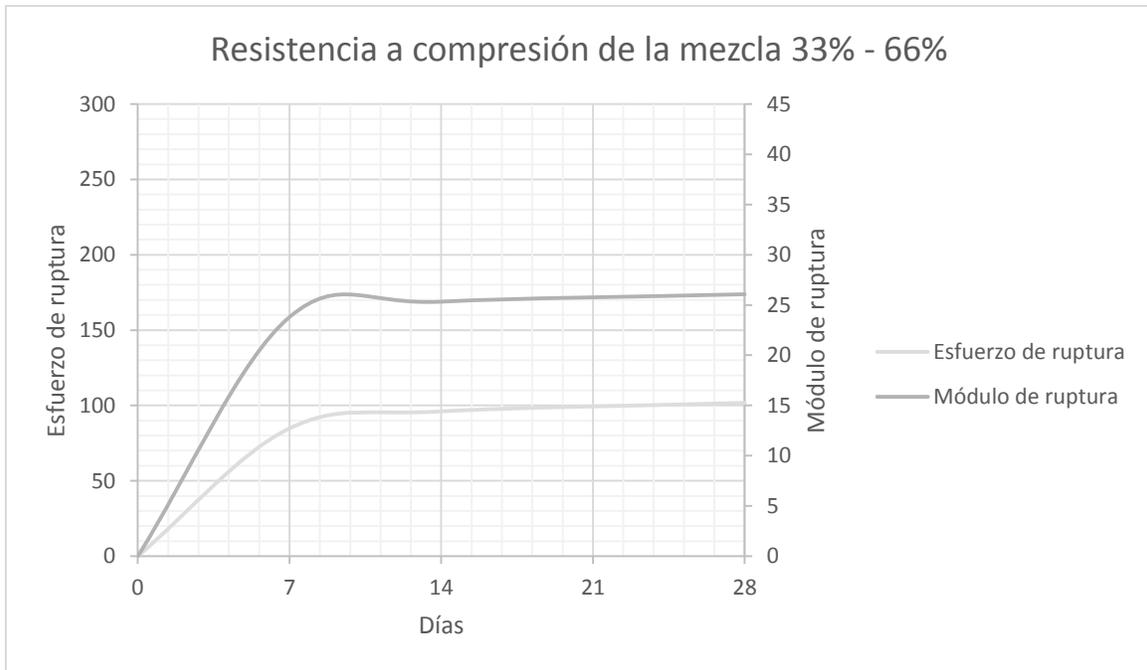


Figura 28. Resultados del esfuerzo de la mezcla c (33% - 66%) 7, 14 y 28 días

10.1.4 Concreto hidráulico con sustitución del agregado grueso en 100%

Tabla 53. Resultados del esfuerzo de la mezcla d (0% - 100%) 7, 14 y 28 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm3)	Peso Vol. (Kg/m³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm²)
4	12/10/2020	19/10/2020	7.5	24	7	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	7,000	39.61	16.30
4	12/10/2020	26/10/2020	7.5	24	14	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	8,000	45.27	17.42
4	12/10/2020	09/11/2020	7.5	24	28	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	9,000	50.93	18.48

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

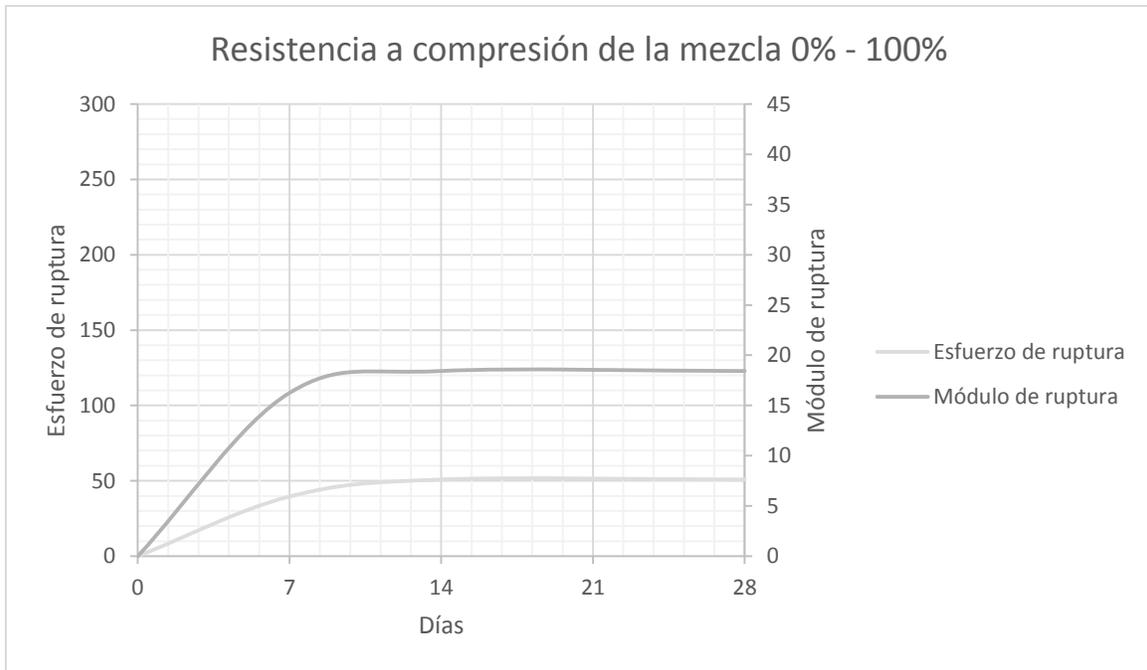


Figura 29. Resultados del esfuerzo de la mezcla d (0% - 100%) 7, 14 y 28 días

10.2 Comprobación de hipótesis

Se agrupan los resultados en 4 tablas presentadas a continuación, siendo la primera tabla la que presenta las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido y las últimas 3 las que presentan el comportamiento del esfuerzo de ruptura que presento de acuerdo a las pruebas realizadas a 7, 14 y 28 días. Se señala que las muestras numeradas con el 1 son de la mezcla de control, con el 2 son la mezcla de sustitución al 33% de agregado PEAD, con el 3 son la mezcla de sustitución al 66% de agregado PEAD y con el 4 son la mezcla de sustitución al 100% de agregado PEAD.

Tabla 54. Propiedades del concreto fresco y endurecido de las mezclas a, b, c y d

Dosificación	Por agregado		Por función				Por elaboración	
	Concreto normal (Masa volumétrica seca mayor a 2000 kg/m ³)	Concreto ligero (Masa volumétrica seca menor a 2000 kg/ m ³)	Clase 1		Clase 2		Hecho en obra	Premezclado
			(Masa volumétrica fresca entre 2200 kg/m ³ – 2400 kg/ m ³)	(Igual o Mayor a 250 kg/cm ²)	(Masa volumétrica fresca entre 1800 kg/m ³ – 2200 kg/ m ³)	(Menor a 250 kg/cm ²)		
Mezcla 100% - 0%	2656.29	-	2255.20	254.65	-	-	X	-
Mezcla 66% - 33%	2126.73	-	-	-	2048.40	152.79	X	-
Mezcla 33% - 66%	-	1975.94	-	-	1860.07	101.86	X	-
Mezcla 0% -100%	-	1683.42	-	-	1700.34	50.93	X	-

Tabla 55. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 7 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm ³)	Peso Vol. (Kg/m ³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm ²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/cm ²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm ²)
1	12/10/2020	19/10/2020	4.5	25	7	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	28,000	158.45	32.60
2	12/10/2020	19/10/2020	2	24	7	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	20,000	113.18	27.55
3	12/10/2020	19/10/2020	3	24	7	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	15,000	84.88	23.86
4	12/10/2020	19/10/2020	7.5	24	7	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	7,000	39.61	16.30

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

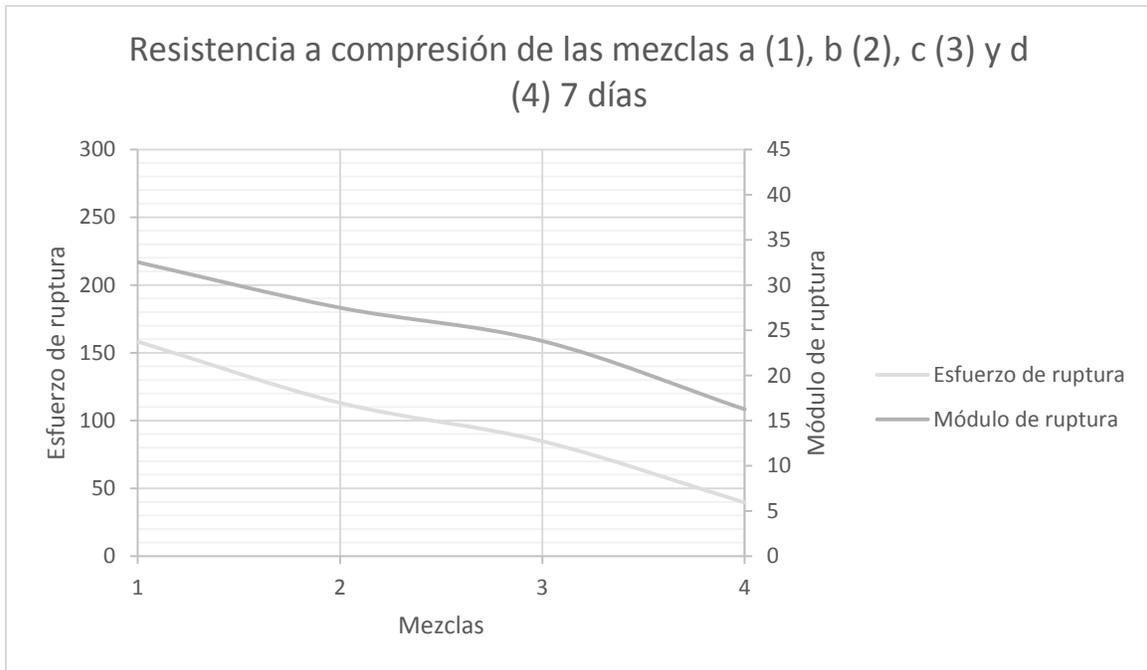


Figura 30. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 7 días

Tabla 56. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 14 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm3)	Peso Vol. (Kg/m³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm²)
1	12/10/2020	26/10/2020	4.5	25	14	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	40,000	226.36	38.96
2	12/10/2020	26/10/2020	2	24	14	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	22,000	124.50	28.89
3	12/10/2020	26/10/2020	3	24	14	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	17,000	96.20	25.40
4	12/10/2020	26/10/2020	7.5	24	14	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	8,000	45.27	17.42

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

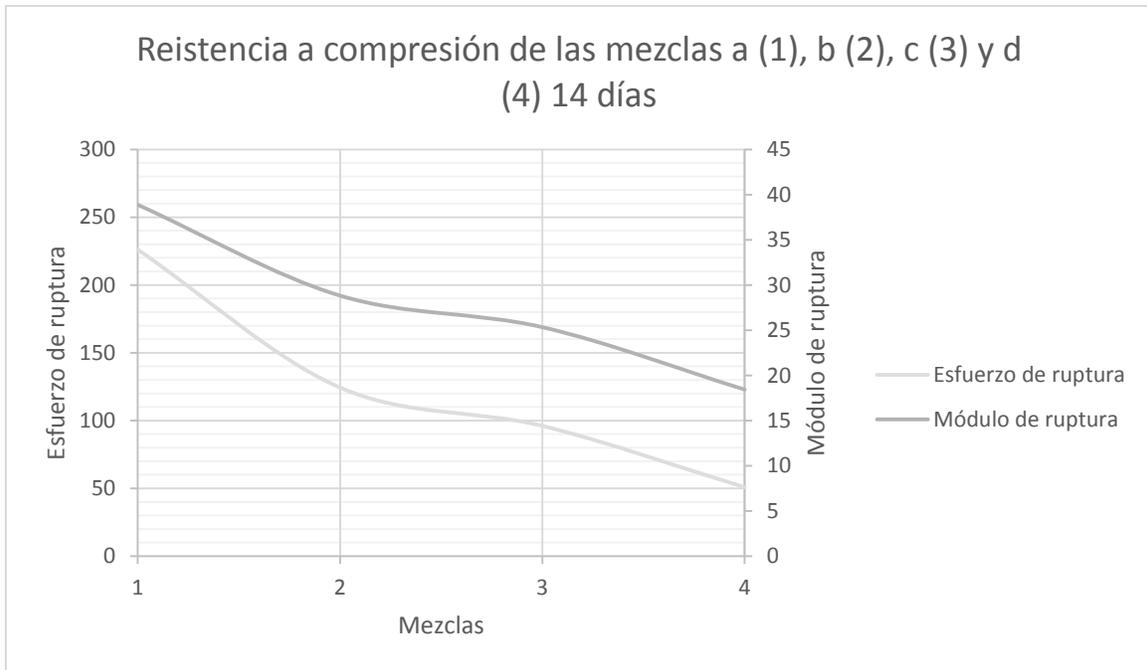


Figura 31. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 14 días

Tabla 57. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 28 días

No.	Fecha De Colado	Fecha De Ensayo	Rev. (Cm)	Temp. ° C	Edad (Días)	Peso (Kg)	Vol. (Cm3)	Peso Vol. (Kg/m³)	Altura (Cm)	Diam. (Cm)	Área (Cm²)	Carga De Ruptura (Kgf)	Esfuerzo De Ruptura (Kg/Cm²)	Módulo De Ruptura (Kg/cm²)
1	12/10/2020	09/11/2020	4.5	25	28	14.08	5308.50	2656.29	30	15	176.95	45,000	254.65	41.33
2	12/10/2020	09/11/2020	2	24	28	11.27	5308.50	2126.73	30	15	176.95	27,000	152.79	32.01
3	12/10/2020	09/11/2020	3	24	28	10.47	5308.50	1975.94	30	15	176.95	18,000	101.86	26.13
4	12/10/2020	09/11/2020	7.5	24	28	8.92	5308.50	1683.42	30	15	176.95	9,000	50.93	18.48

[1] de acuerdo a la ACI 362 ($1.99 * \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 * \sqrt{F'c}$) y tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos $MR = 2.59 \sqrt{F'c}$

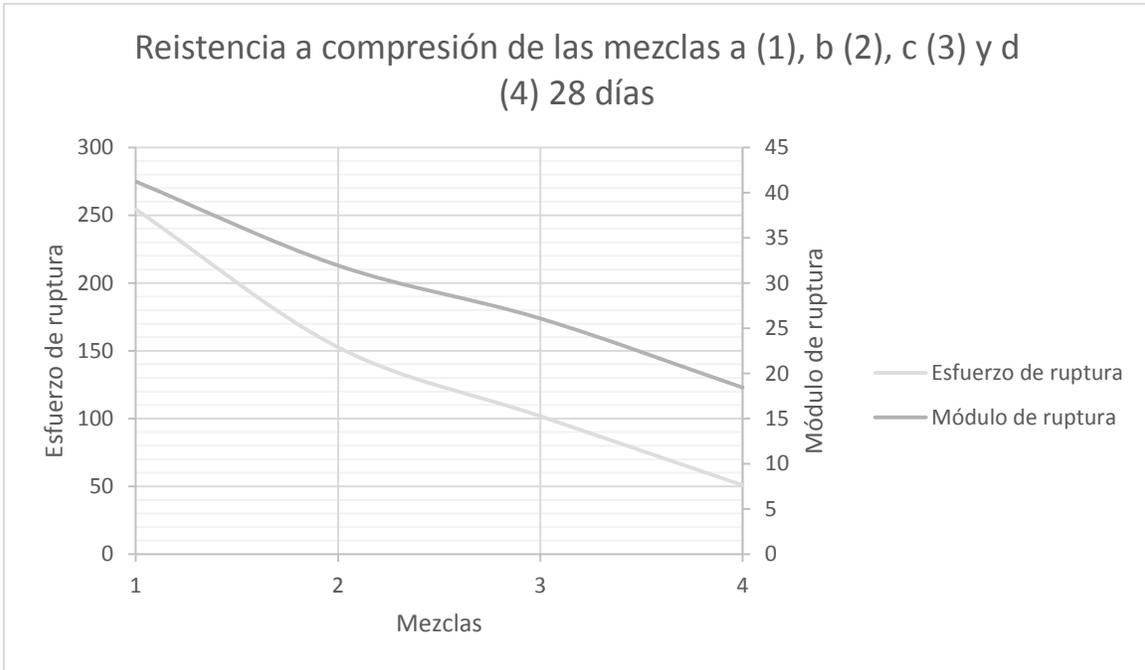


Figura 32. Resultados de las pruebas a compresión a las mezclas a, b, c y d con agregado pétreo mineral y PEAD a 28 días

11 Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

11.1 Conclusiones

Se diseñaron mezclas de concreto con adiciones de PEAD como material de reemplazo del agregado pétreo en porcentajes de 33%, 66% y 100%, así como la mezcla de control que fue la referencia para evaluar el desempeño de las mismas, de las cuales se llegó a las siguientes conclusiones:

De los ensayos de resistencia a la compresión, se obtuvieron resistencias mecánicas por debajo de la mezcla de control (mezcla a una resistencia de 247.5 kg/cm^2 , de la mezcla b (66% - 33%) una resistencia de 153 kg/cm^2 , de la mezcla c (33% - 66%) una resistencia de kg/cm^2 , y por último de la mezcla d una resistencia de 52 kg/cm^2 a los 28 días de edad), no cumpliendo con la resistencia calculada de diseño ($F'c = 249.99 \text{ kg/cm}^2$), ya que las resistencias alcanzadas por las mezclas fueron inferiores.

No se logró determinar el porcentaje de reemplazo óptimo de PEAD en las mezclas de concreto hidráulico para cumplir con los requerimientos de diseño de mezclas de concreto hidráulico para losas. Aun cuando se realizaron los ajustes de acuerdo a la normativa para el material empleado, no se logró las prestaciones mecánicas de diseño, sin embargo, de los resultados obtenidos se deduce de la tabla que el desempeño del agregado grueso PEAD en las propiedades del concreto endurecido (peso volumétrico fresco, peso volumétrico seco y esfuerzo de ruptura), tomando como porcentaje óptimo de sustitución un 66% de agregado mineral y 33% de agregado plástico, presenta características de concreto normal clase 2 $F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ hecho en obra y apto para conceptos del tabulador de caminos, en concretos simples, para elementos como corona de pilas y estribos del grupo V y diafragmas del grupo VII, en concretos ciclópeos, para elementos como cimientos de pilas y estribos del grupo II y cuerpo de pilas y estribos del grupo III, y para conceptos del tabulador de edificación para elementos como firmes, guarniciones y dentellones; y tomando como porcentaje de diseño de sustitución un 33% de agregado mineral y 66% de agregado plástico, presenta características de concreto ligero clase 2 $F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ hecho en obra y apto para conceptos del tabulador de caminos, en concretos simples, para elementos como obras de drenaje del grupo I, losas del grupo II, zapatas del grupo III y cuerpo de pilas y estribos del grupo IV y en concretos ciclópeos, para elementos como como obras de drenaje del grupo I, cimientos de pilas y estribos del grupo II y cuerpo de pilas y estribos del grupo III.

Por lo que se concluye que la mezcla c (33% de grava mineral - 66% grava plástica) se puede emplear en construcción de cimentaciones, obras de drenaje y subestructuras de puentes que no sobrepasen la resistencia de diseño ($F'c = 100 \text{ kg/cm}^2$) y la mezcla b (66% - 33%) se puede emplear en construcción de subestructuras de puentes, superestructuras de puentes (excepto trabes y losas), firmes vehiculares, guarniciones y dentellones de calles que no sobrepasen la resistencia de diseño ($F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$).

11.2 Recomendaciones

El sistema de doble tratamiento a los residuos plásticos requiere una simplificación para emplearse con la maquinaria actual, en primer instancia la recolección y clasificación de los plásticos; en segunda, el tratamiento térmico para homogenizar el material triturado y crear rocas artificiales y en tercera, la trituración de las rocas artificiales para satisfacer la granulometría requerida por la normativa actual, esto para suministrar volúmenes de material pétreo ligero de acuerdo a las necesidades de construcción en calles que requiera la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

12 Bibliografía

- Remojan, S. K., Ramya, C., Viswanathan, M. R., Varjani, S. Plastic Pollutants: Waste management for pollution control and abatement, *Curren Opin Env Sci.*, 12, 72-84, 2019.
- Awoyera, P.O., Andesina. A. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective, *Case Stud. Constr. Mater.* 12, e00330 in press, 2020.
- Mohammed, A. A. Modelling the mechanical properties of concrete containing PET waste aggregate, *Constr Build Mater.*, 150, 595-605, 2017.
- Yoon, J.Y., Kim, J.H. Mechanical properties of preplaced lightweight aggregates concrete. *Constr. Build. Mater.*, 216, 440-449, 2019.
- Akçaözoğlu. S, Atiş.C. D, y Akçaözoğlu. K, An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete, *Waste Manag.*, 30, 285–290, 2010.
- Ismail. Z. Z y AL-Hashmi. E. A, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Manag.*, 28, 2041–2047, 2008.
- L.R. Bandodkar. (2011). Pulverised PET bottles as partial replacement for sand. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 1009-1012.
- M Frigione. (2002). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, 30(6), 1101-1106.
- Y.W. Choi. (2005). Effects of waste PET bottles aggregates on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776-781.
- Heredia, D., & Orozco, D. (2009). Desarrollo de una mezcla asfáltica utilizando residuos plásticos. Colombia.
- Pozo, A. C. (2012). Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla. Barcelona.
- Ghaly, A., & Gill, M. (2004). Compression and Deformation Performance of Concrete Containing Postconsumer Plastics. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 289-296.
- Gómez, M. S., Carvajal, A. M., Santelices, V. (2011). Influencia del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) usado como adición en el mortero de cemento. *Revista de la construcción* no. 10. México.

- Rosales, N. D. L. (2011). Impacto económico y ecológico de la degradación de botellas de plástico en México. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Silvestre, G. A. (2017). Análisis del concreto con polietileno de densidad media como aditivo para aligerar elementos estructurales. Universidad Libre Seccional Pereira. Colombia.
- Palacios, S. A. (2014). Elaboración de PET-concreto, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de tensión y flexión. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Pérez, L. L. R. (2016). Estudio de las características mecánicas de un tabicón elaborado con una mezcla de arena, cemento y tereftalato de polietileno (PET) como agregado grueso. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Montiel, M. J. L. (2017). Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Enciclopedia del Plástico, Instituto Mexicano del Plástico Industrial, Tomo 3, Capítulo 29, páginas 119-159, México D.F., 2000.
- N.CTR.CAR.1.02.003/04 (2004); Libro: Construcción, Tema: Carreteras, Parte: Conceptos de obra, Título: Estructuras, Capítulo: Concreto hidráulico. México.
- N.CTR.CAR.1.02.009/06 (2006); Libro: Construcción, Tema: Carreteras, Parte: Conceptos de obra, Título: Estructuras, Capítulo: Carpetas de concreto hidráulico. México.
- N.CMT.2.02.001/02 (2002); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad del Cemento Portland. México.
- N.CMT.2.02.002/19 (2019); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico. México.
- N.CMT.2.02.003/02 (2002); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad del agua para concreto hidráulico. México.
- N.CMT.2.02.004/18 (2004); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad de aditivos químicos para concreto hidráulico. México.

- N.CMT.2.02.005/04 (2004); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Calidad del concreto hidráulico. México.
- N.CMT.4.06.001/19 (2019); Libro: Características de los Materiales, Parte: Materiales para pavimentos, Título: Materiales para carpetas de concreto hidráulico, Capítulo: Calidad de agregados para carpetas de concreto hidráulico. México.
- M.MMP.2.02.001/00 (2000); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Muestreo de cemento portland. México.
- M.MMP.2.02.020/18 (2018); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Granulometría de los agregados pétreos. México.
- M.MMP.2.02.023/18 (2018); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Masa volumétrica de los agregados pétreos. México.
- M.MMP.2.02.030/18 (2018); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Partículas más finas que la malla no. 200 (0.075 mm) en los agregados. México.
- M.MMP.2.02.031/18 (2018); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Terrones y partículas deleznable en los agregados. México.
- M.MMP.2.02.032/18 (2018); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Resistencia a la degradación del agregado grueso mediante la máquina de los Ángeles. México.
- M.MMP.2.02.055/06 (2006); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Muestreo de concreto hidráulico. México.
- M.MMP.2.02.056/06 (2006); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Revenimiento del concreto fresco. México.

- M.MMP.2.02.058/04 (2004); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto. México.
- M.MMP.2.02.059/04 (2004); Libro: Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte: Materiales para estructuras, Título: Materiales para concreto hidráulico, Capítulo: Resistencia a la tensión de cilindros de concreto. México.
- Título cuarto “servicios públicos municipales”, capítulo II “pavimentos” artículos no. 46 al no. 52, capítulo III “guarniciones” artículos no. 53 al no. 56 y capítulo IV “banquetas” artículos no. 57 al no. 62. Reglamento de construcción para el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.