

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL CON SUSTITUCIÓN DEL DESECHO PRODUCTO DE LA ESCARIFICACIÓN DEL ASFALTO (RIPIO DEL 20% AL 25%) EN EL AGREGADO FINO COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs:

Ávila Gómez, Luis Enrique.

Gutiérrez Villarroel, Johismar Del Valle.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil.

Caracas, 2015.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL CON SUSTITUCIÓN DEL DESECHO PRODUCTO DE LA ESCARIFICACIÓN DEL ASFALTO (RIPIO DEL 20% AL 25%) EN EL AGREGADO FINO COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs:

Ávila Gómez, Luis Enrique.

Gutiérrez Villarroel, Johismar Del Valle.

Para optar al Título de
Ingeniero Civil.

Caracas, 2015

ACTA

El día **lunes 20 de julio del 2015** se reunió el jurado formado por los profesores:

Cesar Peñuela

Maria Eugenia Korody

Ruben Landaeta

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: “**ANÁLISIS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL CON SUSTITUCIÓN DEL DESECHO PRODUCTO DE LA ESCARIFICACIÓN DEL ASFALTO (RIPIO DEL 20% AL 25%) EN EL AGREGADO FINO COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**”. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que el (la, las, los) bachiller(es) hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Johismar D. Gutiérrez V.		
Br. Luis E. Ávila G.		

Recomendaciones: _____

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, 20 de julio de 2015

Por la presente certifico que he leído el Trabajo Especial de Grado "ANÁLISIS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL CON SUSTITUCIÓN DEL DESECHO PRODUCTO DE LA ESCARIFICACIÓN DEL ASFALTO (RIPIO DEL 20% AL 25%) EN EL AGREGADO FINO COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS", desarrollado por los bachilleres: ÁVILA LUIS Y GUTIÉRREZ JOHISMAR para optar al título de Ingeniero Civil, y lo encuentro apropiado tanto en su contenido, como en su formato y apariencia externa.

Considerando que cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, autorizo se proceda a la entrega de los ejemplares respectivos ante el Departamento de Ingeniería Estructural, para que sea sometido a evaluación por parte del jurado examinador que le sea designado.

En Caracas, a los 29 días del mes de junio del 2015

Prof. César Peñuela.

Dedicado a Dios y a mi familia
“Gracias por ser la base fundamental de lo que soy”

Johismar Gutiérrez.

Dedicado a Dios y a mi familia
“En ustedes está los cimientos de mi ser”
Luis Ávila.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios y a la Virgencita Del Valle, por estar siempre presente en cada paso que doy en la vida, por ser la base fundamental de todas mis decisiones. Gracias especialmente a mi madre, gracias por la vida que me has dado, por estar siempre conmigo apoyándome en las buenas y en las malas, gracias por todo tu esfuerzo y dedicación, gracias por tus detalles, gracias a ti he llegado hasta aquí, te amo Merly Villarroel.

Gracias a mi segunda madre, Eudez Villarroel, por cuidarme desde siempre, por su amor incondicional, por sus enseñanzas, por ser la mejor madre del mundo para todos los que te conocemos, te amo infinitamente. Gracias a mi padre, Johnny Gutiérrez, por los buenos momentos que vivimos juntos, por comprender que no pude estar a tu lado en esos días difíciles que enfrentaste y aun así sigues siendo el mismo padre cariñoso, soy muy afortunada de tenerte como mi papá, te amo. Gracias al Ingeniero Elio Abreu por ser un ser humano bondadoso, cariñoso y amable, usted es uno de mis ejemplos a seguir, gracias por apoyarme en la realización del T.E.G. A mi compañero de tesis y compañero de vida, Luis Ávila, gracias por hacerme feliz, la vida compartida siempre será la mejor manera de vivir, y no existe nada mejor que compartirla contigo, te amo. ¡Felicitaciones Ingeniero!, una de muchas celebraciones que nos faltan por disfrutar. Gracias por ser mi apoyo en esos momentos de debilidad y desmotivación, te amo mi amorcito.

Gracias a mi bruja mayor, mi tía Yennifer Villarroel, por amarme, cuidarme y enseñarme que el poder con amor es la construcción de un mundo mejor. Gracias a mis tías, tíos, y a mis piojosos: Jesús Aníbal, Alexander y José Ángel por siempre dibujar miles de sonrisas en mí con sus ocurrencias, mis consentidos. Gracias a Johana Rodríguez por ser mi mejor amiga, por estar conmigo en todo momento, por tu apoyo, te adoro. Gracias a mis preciosas: Samira Duquesa y Molly de Cambrige por acompañarme en todas mis noches de desvelo a lo largo de mi carrera. Gracias a mi hermosa Universidad Central de Venezuela. Gracias mi querido Señor Elionel, por habernos brindado todo el apoyo y colaboración durante la ejecución de este TEG. Gracias a mi gran profesor y amigo Cesar Peñuela, por su valiosa asesoría y apoyo técnico durante la ejecución de este proyecto.

Johismar Gutiérrez.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a dios ante todo, por estar presente en todo momento, por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante, por ser la luz de mi camino, por ser mi guía.

Gracias a mi Familia: Papá Luis Enrique Ávila por estar siempre presente, por tus sabios consejos, por tener una vida dedicada a mi crecimiento, eres el pilar fundamental de mi educación, el abrigo de tu amor arropa cualquier sabana, Te amo. Norma Gómez por ser la madre que ha estado a mi lado a lo largo de toda mi carrera, por desvelarte cada día, por apoyarme en todo momento, por ser una persona completamente integral en mi vida, Te amo. Hermano Luis Alejandro Ávila por tener siempre esa palabra de aliento, llenándome de perseverancia y motivación en mis proyectos, por levantarme ante cada caída, por tu absoluta sinceridad.

Mi Hembra Ω ↓

Gracias a mi compañera de tesis, amiga, novia, familia y proyecto de vida, Johismar Gutiérrez, por darme todo tu apoyo incondicional, por extenderme tu mano en este TEG por ser la luz que me ha acompañado en esta etapa, por sacarme esa sonrisa que alegra hasta el día más nublado. Te amo! orgullo de mi vida! el viaje entre dos se hace más corto.

Gracias a Sandra Gimón, madre sentimental, por dedicarme tu voz, tus lecciones y reflexiones, que me han hecho madurar y tomar decisiones de vida. Gracias a mi Suegra y amiga Merly Villarroel, por estar presente, ayudarme y brindarme su abrigo y apoyo en esta etapa de mi carrera profesional. Gracias a la gloriosa Universidad Central de Venezuela. Gracias al Profesor Cesar Peñuela, gracias a Ud. ha sido posible la realización de este trabajo especial de grado, por su amplia paciencia y dedicación. Gracias a mis compañeros, cuasicolegas, José Huerta, Pablo Guillen, Joyne Morgado, Yurehima Martínez, Valdriani Luz Vásquez, Daniela Crespo, por estar presentes en mi carrera. Gracias a la profesora María Eugenia Korody, por enseñarme la rectitud, ética y conocimiento que necesita un Ingeniero, mi aprecio hacia usted es magno. Gracias a la oficina de Estudios y Proyectos Schace, C.A. por darme la oportunidad de ser un cuasi-ingeniero. Gracias al Sr. Elionel, por entregarnos los conocimientos técnicos y la paciencia para poder realizar este TEG. Gracias a dos seres especiales, Samira y Molly sin Uds. mis noches de desvelo, no habrían sido igual, son la representación del amor más puro que un ser puede entregar.

Luis Ávila.

Ávila G. Luis E.
Gutiérrez V. Johismar D. V.

**ANÁLISIS DEL CONCRETO ESTRUCTURAL CON SUSTITUCIÓN
DEL DESECHO PRODUCTO DE LA ESCARIFICACIÓN DEL
ASFALTO (RIPIO DEL 20% AL 25%) EN EL AGREGADO FINO
COMO ALTERNATIVA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.**

Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2015. 120 páginas.

Palabras claves: Relación agua-cemento, ripio, escarificación, concreto estructural, resistencia mecánica, mezcla patrón.

Resumen. En este Trabajo Especial de Grado se evaluó el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado fino por el producto de la escarificación del asfalto (ripio), en porcentajes del 20 % al 25 % para resistencias de diseño de 250 kgf/cm². Las mezclas se realizaron según la norma COVENIN 354:2001. Se realizaron ensayos a los agregados, al concreto fresco y al concreto endurecido. La data obtenida fue procesada a través de tablas y gráficos comparativos, que permitieron contrastar los resultados de las mezclas con sustitución respecto a la mezcla patrón. El asentamiento promedio obtenido fue de 9.1 cm, se observó una ganancia de asentamiento y trabajabilidad a medida que aumentaba la dosificación de ripio en las mezclas, se infiere esta característica a la impermeabilidad del asfalto que contiene el ripio. Las resistencias obtenidas fueron de 263 kgf/cm² para la mezcla patrón, 225 kgf/cm² para la mezcla con sustitución parcial del ripio en el agregado fino en un 20 % y 212 kgf/cm² para la mezcla con 25 % de sustitución. Se recomienda establecer un control de los agregados para la obtención de los parámetros de humedad y absorción, y realizar mezclas usando aditivos superplastificantes que mejoren la trabajabilidad, resistencia y la durabilidad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
I.1. El problema de la investigación.	2
I.2. Objetivos de la investigación.....	4
I.2.1 Objetivo general.	4
I.2.2 Objetivos específicos.....	4
I.3. Aportes.	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEORICO.....	6
II.1. Antecedentes.	6
II.1.1 Estudio de los residuos de concreto estructural (2014-TEG).....	6
II.1.2	
Arnal, Carlos y Collazo L, Aura, Trabajo Especial de Grado, evaluación de las características de mezclas de concreto sustituyendo parcialmente el agregado fino por escoria de níquel en altas proporciones, 2014.	6
II.1.3	
Azpuruá Andrés y Herrera Riberth, Trabajo Especial de Grado, caracterización de mezclas de concreto sustituyendo parcialmente los agregados por el material escarificado de los pavimentos, 2015	7
II.2. Modelo.	8
II.3. Fundamentos del método de diseño propuesto.	8
II.4. Leyes.	8

II.4.1	Relación triangular.	8
II.4.2	Ley de Abrams.	10
II.5.	Principios estadísticos.	10
II.6.	Conceptos.	11
II.6.1	Concreto estructural.	11
II.6.2	Cemento.	11
II.6.3	Control de Calidad.	12
II.6.4	Trabajabilidad.	12
II.7.	Agregados.	15
II.7.1	Granulometría.	15
II.7.2	Agregados por fracciones.	15
II.7.3	Combinación de agregados.	16
II.7.4	Tamaño máximo del agregado.	16
II.7.5	Peso específico.	16
II.7.6	Resistencia Promedio Requerida (Fcr).	16
II.7.7	Proceso de curado.	17
II.8.	Concreto endurecido.	17
II.8.1	Peso unitario.	17
II.8.2	Velocidad de pulso ultrasónico.	17
II.8.3	Determinación del número de rebote o ensayo esclerométrico.	18
II.8.4	Resistencias Mecánicas.	19
II.8.5	Resistencia a la Compresión.	19
II.8.6	Resistencia a la tracción indirecta.	20

II.8.7	Criterios de aceptación o rechazo.....	20
II.9.	Asfalto.....	22
II.10.	Escarificación.....	22
II.11.	Ripio.....	22
II.12.	Termoplasticidad.....	22
II.13.	Residuos y Aprovechamiento.....	22
CAPÍTULO III.....		23
MÉTODO		23
III.1.	Recopilación de Información.....	24
III.2.	Búsqueda y almacenamiento de materiales.....	24
III.3.	Caracterización de los agregados (arena lavada, piedra y ripio).....	25
III.3.1	Agregado fino y grueso (arena lavada y piedra picada).....	25
III.3.2	Agregado grueso.....	33
III.4.	Diseño de mezcla.....	35
III.4.1	Definición de parámetros de entrada.....	37
III.4.2	Relación beta (β).....	37
III.4.3	Resistencia Promedio Requerida (F_{cr}).....	38
III.4.4	Ley de Abrams. Relación agua/cemento (α).....	39
III.4.5	Corrección de α (α_C).....	40
III.4.6	Verificación de α_C máximo (α_D).....	41
III.4.7	Relación Triangular. Dosis de cemento (C).....	42
III.4.8	Corrección de dosis de cemento (C_C).....	43
III.4.9	Verificación de dosis mínima de cemento corregida (C_D).....	44

III.4.10	Cálculo del volumen absoluto de agua (a).	45
III.4.11	Cálculo del volumen del aire atrapado (V).	45
III.4.12	Cálculo del peso específico del agregado grueso y fino (A+G).	46
III.4.13	Cálculo del volumen para los agregados.	46
III.4.14	Corrección por humedad solo para el agregado grueso y para la arena la vada.	46
III.4.15	Agua de mezclado.	47
III.4.16	Dosificación de los materiales.	47
III.5.	Mezclado del material.	48
III.5.1	Mezclas.	49
III.6.	Preparación de Probetas.	50
III.7.	Caracterización del concreto fresco.	51
III.7.1	Medición del asentamiento con el Cono de Abrams.	51
III.8.	Caracterización del concreto endurecido.	53
III.8.1	Peso unitario.	53
III.8.2	Ensayo a compresión.	54
III.8.3	Velocidad del pulso ultrasónico.	56
III.8.4	Determinación del índice esclerométrico.	59
III.8.5	Módulo de elasticidad.	60
III.8.6	Resistencia a la tracción indirecta.	62
III.9.	Comparación con mezcla patrón.	63
CAPÍTULO IV		64

RESULTADOS	64
IV.1. Caracterización de los agregados.....	64
IV.1.1 Granulometría	64
IV.1.2 Absorción y peso específico.....	68
IV.1.3 Peso unitario.	69
IV.1.4 Contenido de Humedad.	70
IV.2. Diseño de mezcla.....	71
IV.2.1 Relación β	71
IV.2.2 Componentes del diseño de mezcla.....	72
IV.2.3 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.	73
IV.2.4 Relación volumétrica entre la arena lavada y el ripio.	73
IV.2.5	
Dosificación de los materiales para 60 litros de mezcla con 20% y 25% d	
e ripio. 74	
IV.3. Cómputos Métricos.....	76
IV.4. Caracterización del concreto fresco.....	79
IV.4.1 Medición de asentamiento.....	79
IV.5. Caracterización del concreto endurecido.....	80
IV.5.1 Peso unitario de las mezclas en concreto endurecido.....	80
IV.5.2 Ensayo a compresión.....	83
IV.5.3 Velocidad del pulso ultrasónico.....	86
IV.5.4 Índice Esclerométrico.....	88
IV.5.5 Módulo de Elasticidad.....	89

IV.5.6	Ensayo a la tracción indirecta.....	92
CAPÍTULO V	94
ANÁLISIS DE RESULTADOS	94
V.1.	Caracterización de los agregados.....	94
V.1.1	Granulometría del Ripio de asfalto.	94
V.1.2	Granulometría de la arena.	95
V.1.3	Granulometría de la piedra.	95
V.1.4	Tamaño máximo.....	96
V.1.5	Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).	96
V.1.6	Peso unitario.....	97
V.1.7	Contenido de humedad.....	97
V.1.8	Porcentaje de absorción.....	98
V.1.9	Desgaste Los Ángeles.	99
V.2.	Caracterización del concreto fresco.....	100
V.2.1	Asentamiento.....	100
V.3.	Concreto endurecido.	101
V.3.1	Peso unitario.....	101
V.3.2	Ensayo a compresión.....	102
V.3.3	Velocidad de pulso ultrasónico.....	105
V.3.4	Índice Esclerométrico.....	106
V.3.5	Módulo de elasticidad.	106
V.3.6	Ensayo de tracción indirecta.	107
V.4.	Cómputos métricos.	108

CAPÍTULO VI.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
VI.1. Conclusiones.....	109
VI.2. Recomendaciones.....	114
REFERENCIAS.....	115
ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría del ripio (producto de la escarificación del asfalto).....	64
Tabla 2. Granulometría de la arena.	65
Tabla 3. Granulometría de la piedra.	66
Tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso.	67
Tabla 5. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (# 200).....	68
Tabla 5.1. Desgaste de Los Ángeles.	68
Tabla 6. Absorción y peso específico de la arena.	68
Tabla 7. Absorción y peso específico de la piedra.	69
Tabla 8. Peso unitario del ripio.	69
Tabla 9. Peso unitario de la arena.	69
Tabla 10. Peso unitario de la piedra.	69
Tabla 11. Contenido de humedad de la arena.	70
Tabla 12. Contenido de humedad de la piedra.	70
Tabla 13. Relación β	71
Tabla 14. Datos de entrada.	72
Tabla 15. Diseño de mezcla.	72
Tabla 16. Corrección del agua de la mezcla.	73
Tabla 17. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.	73
Tabla 18. Relación volumétrica para la sustitución del ripio en proporciones del 20% en l a nueva mezcla.....	73
Tabla 19. Relación volumétrica para la sustitución del ripio en proporciones del 25% en l a nueva mezcla.....	74

Tabla 20. Dosificación de los materiales para mezclas con sustitución del 20% y 25% del ripio por el agregado fino (arena lavada).....	74
Tabla 21. Cómputos métricos para las mezclas (bsf). Mayo 2015	76
Tabla 22. Asentamiento para las tres mezclas.....	79
Tabla 23. Dimensiones y masas de las probetas a los 7 días.	80
Tabla 24. Peso unitario promedio a los 7 días.	80
Tabla 25. Dimensiones y masas de las probetas a los 14 días.	81
Tabla 26. Peso unitario promedio a los 14 días.	81
Tabla 27. Dimensiones y masas de las probetas a los 28 días.	81
Tabla 28. Peso unitario promedio a los 28 días.	82
Tabla 29. Ensayo a compresión promedio a los 7 días.	83
Tabla 30. Resistencia promedio a los 7 días.	83
Tabla 31. Ensayo a compresión promedio a los 14 días.	83
Tabla 32. Resistencia promedio a los 14 días.	84
Tabla 33. Ensayo a compresión promedio a los 28 días.	84
Tabla 34. Resistencia promedio a los 28 días.	84
Tabla 35. Velocidad de pulso ultrasónico a la edad de 28 días.	86
Tabla 36. Índice esclerométrico promedio para los 28 días.....	88
Tabla 37. Esfuerzos (kg/cm ²) para el módulo de elasticidad de las mezclas.	89
Tabla 38. Carga máxima promedio aplicada en los ensayos de módulo de elasticidad a cilindros ensayados a los 28 días.....	90
Tabla 39. Módulo de elasticidad secante. Norma COVENIN 1468-79 “Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”.	90

Tabla 40. Módulo de elasticidad. Norma COVENIN 1753-2003 “Método, Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”	90
Tabla 41. Ensayo a la tracción indirecta para las muestras a los 28 días	92
Tabla 42. Granulometría de material escarificado, TEG Azpurua y Herrera, Ávila y Gutiérrez	95
Tabla 43. Normas aplicadas a los límites granulométricos.....	96
Tabla 44. Criterio de aceptación para material pasante del cedazo COVENIN 74 micras	97
Tabla 45. Valores, peso unitario, porcentaje de absorción y contenido de humedad.....	99
Tabla 46. Porcentajes de Desgaste de Los Ángeles	100
Tabla 47. Asentamientos del cono de Abrams	101
Tabla 48. Peso Unitario a los 28 días	102
Tabla 49. Resistencias a la Compresión del 10 % al 25 % a los 28 días	104
Tabla 50. Velocidad del Pulso Ultrasónico a los 28 días	105
Tabla 51. Comparación entre antecedentes de TEG.	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva granulométrica del ripio.....	65
Gráfico 2. Curva granulométrica de la arena.....	66
Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado grueso.....	67
Gráfico 4. Pesos unitarios de los agregados.....	70
Gráfico 6. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla patrón.	75
Gráfico 7. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla con 20% de ripio.....	75
Gráfico 8. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla con 25% de ripio.....	76
Gráfico 9. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla patrón. Mayo 2015	77
Gráfico 10. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla con ripio (sustituyendo 20% del ripio en el agregado fino). Mayo 2015	77
Gráfico 11. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla con ripio (sustituyendo 25% del ripio en el agregado fino). Mayo 2015	78
Gráfico 12. Costo de mezclas en bolívares para 60 litros. Mayo 2015.	78
Gráfico 13. Comparación de los asentamientos obtenidos.....	79
Gráfico 14. Comparación del peso unitario para las diferentes mezclas en sus 3 edades (7, 14 y 28 días)	82
Gráfico 15. Resistencia a los 28 días (kgf/cm ²).....	85
Gráfico 16. Comparación de resistencias a los 7, 14 y 28 días en las 3 mezclas.	85
Gráfico 17. Desarrollo de la resistencia del concreto.....	86
Gráfico 18. Velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a los 2	

8 días.....	87
Gráfico 19. Porcentaje de velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a los 28 días en relación a la mezcla patrón.	87
Gráfico 20. Índice esclerométrico promedio para los 28 días.	88
Gráfico 21. Módulo de elasticidad de la mezcla patrón a los 28 días.....	91
Gráfico 22. Módulo de elasticidad, mezcla con sustitución del 20% de ripio de asfalto a los 28 días	91
Gráfico 23. Módulo de elasticidad, mezcla con sustitución del 25% de ripio de asfalto a los 28 días.	92
Gráfico 24. Comparación de muestras según el esfuerzo a la tracción indirecta obtenido.	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación Triangular.	9
Figura 2. Ensayo de asentamientos del Cono de Abrams.	13
Figura 3. Esquema de la disposición de emisor y receptor en el ensayo ultrasónico.	18
Figura 4. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes de pasantes.....	27
Figura 5. Cernidora mecánica modelo Gilson Screen.	27
Figura 6. Tamizado manual del agregado fino por los cedazos $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", #4, #8, #16, #30, #50 y #100.	28
Figuras 7 y 8. Pasante #200 del agregado fino (arena lavada).	28
Figura 9. Agregado fino: arena lavada en molde; ensayo del cono para obtener una muestra saturada con superficie seca (SSS).	29
Figura 10. Picnómetro con la muestra y el agua.	30
Figura 11. Muestra saturada con superficie seca en el aire.	32
Figura 12. Gradaciones de muestras de ensayo.	34
Figura 13. Carga abrasiva o número de esferas.	34
Figura 14. Máquina Los Ángeles.	35
Figura 15. Esquema de los pasos del diseño de mezcla.	36
Figura 16. Resistencia promedio a la compresión, F_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.	38
Figura 17. Representación gráfica de la Ley de Abrams.	40
Figura 18. K_R Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).	41
Figura 19. K_A Factor para corregir α por tipo de agregado.	41

Figura 20. Máximos valores de α para distintas condiciones de servicio o ambientales, según COVENIN 1753-2003	42
Figura 21. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y la relación agua/cemento (α).	43
Figura 22. C1 Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (Pulgadas).....	44
Figura 23. C2 Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).	44
Figura 24. Contenidos mínimos de cemento en función de las condiciones de servicios o ambientales, según COVENIN 1753-2003.	45
Figura 25. Mezcladora de eje vertical.....	49
Figura 26. Enrasado de probetas.....	51
Figura 27. Probetas desencofradas.....	51
Figura 28. Medición del asentamiento.....	52
Figura 29. Medición del diámetro de la probeta con vernier. Fuente: Elaboración propia. Fecha: 27-Abril-2015.	53
Figura 30. Peso de la probeta en estado endurecido. Fuente: Elaboración propia. Fecha: 27-Abril-2015	53
Figura 31. Preparación de probeta para el ensayo a compresión a los 28 días.....	54
Figura 32. Falla de la probeta después de aplicarle la carga a los 28 días.	54
Figura 33. Resistencia a la compresión de la mezcla patrón a la edad de 28 días.	55
Figura 34. Influencia de los defectos en el tiempo de viaje de un impulso ultrasónico. .	57
Figura 35. Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico a los 28 días.	58
Figura 36 Velocidad del pulso ultrasónico medido en μ s (microsegundos) en mezcla patrón.	58
Figura 37. Ensayo esclerométrico para una mezcla del 20% de ripio a los 28 días	60

Figura 38. Extensómetro en una cara del cilindro.	61
Figura 39. Extensómetro en cara posterior del cilindro.	61
Figura 40. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta.	62
Figura 41. Falla de cilindro por tracción indirecta.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión.....	117
ANEXO 2. Superficie de carga convexa.	118
ANEXO 3. Caras de aplicación de carga en límite de tolerancia.	118
ANEXO 4. Falla por concavidad en una de las placas de carga.....	119
ANEXO 5. Falla por fractura del agregado.	119
ANEXO 6. Falla por adherencia.	120
ANEXO 7. Falla a la tracción indirecta.	120

INTRODUCCIÓN

El reciclado de los materiales de construcción está en miras de establecerse como una actividad indispensable e importante en la industria, específicamente durante el retiro de carpetas asfálticas, se generan cantidades importantes de residuos de mezcla asfáltica, representando un problema económico, pues su deposición en vertederos va tornándose más costosa en función de las características de los mismos. Al realizar estos depósitos, no sólo se desaprovecha energía y residuos de mezcla asfáltica potencialmente reutilizable, sino que además afecta de manera negativa el entorno. En tal sentido, el reciclaje de los mismos es una forma de aplacar su mala deposición, mitigando así la explotación de nuevos recursos naturales e incrementando alternativas para la producción de materiales constructivos.

El propósito de este estudio consiste en la evaluación del comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo parcialmente el agregado fino en porcentajes de 20 % y 25 % por residuos del producto de la escarificación del asfalto, los cuales fueron extraídos del lugar de la escarificación y llevados al IMME para su estudio. Para cumplir con los objetivos de la investigación se elaboró el diseño de mezcla de concreto sustituyendo parcialmente el agregado fino por ripio y para su posterior caracterización se realizaron ensayos a compresión, velocidad del pulso ultrasónico, módulo de elasticidad, ensayo esclerométrico y ensayo de tracción indirecta.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

I.1. El problema de la investigación.

La extracción de petróleo genera distintos derivados que son aprovechables en las múltiples ramas de la Ingeniería. Es responsabilidad de la Ingeniería Civil aportar y buscar soluciones que generen resultados de bienestar climático y tecnológico para la sociedad.

En la búsqueda incesante de la explotación de este recurso mineral, valioso y no renovable, se genera el asfalto utilizado como principal producto cementante para la pavimentación de vías de comunicación en Venezuela. En la actualidad, existen aproximadamente ciento treinta mil (130.000) kilómetros (km) de red vial (según Ingeniero Celia Herrera, artículo “El Ejecutivo ha puesto el foco en recuperar la movilidad en Caracas.” publicado en Quinto Día), éstas fueron diseñadas con una vida útil de 20 a 30 años y para este lapso necesitan ser rehabilitadas utilizando el método que más se ajuste.

La sustitución de la carpeta asfáltica a través de la escarificación es un método utilizado para la rehabilitación de la infraestructura vial que genera desechos denominados Ripio. Estos desechos representan una problemática ambiental y es en este momento cuando la Ingeniería Civil hace uso de sus herramientas para lograr el aprovechamiento de este material.

El sector de la construcción, por ser uno de los principales motores de la economía del país, es el que más demanda avances tecnológicos para generar el aumento de producción y disminuir costos. En el área de concreto estructural es necesario hacer pruebas al material a ensayar. La Norma COVENIN 0338-2002 “CONCRETO. MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN, CURADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO” presenta con detalle la elaboración de las probetas de concreto, sus restricciones, las condiciones de las cargas aplicadas al momento del ensayo y paso a paso el procedimiento para el cálculo de la resistencia.

Para darle uso al producto de escarificación del asfalto, este Trabajo Especial de Grado (TEG) presenta una nueva propuesta para analizar la resistencia mecánica del concreto

estructural con sustitución del 20 % al 25 % del ripio en el agregado fino como alternativa para el diseño de mezclas. Los cilindros normativos serán ensayados en el laboratorio del IMME (UCV) bajo condiciones controladas y se identificará si las propiedades mecánicas son similares al concreto convencional usado en la industria venezolana de la construcción. Puede englobarse la siguiente interrogante de investigación: ¿Ofrece el concreto estructural elaborado con ripio de asfalto las propiedades mecánicas aceptables según la Norma COVENIN 338-2002?

I.2. Objetivos de la investigación.

I.2.1 Objetivo general.

Analizar el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado fino por el producto de la escarificación del asfalto (ripio) con dosificación parcial del 20% al 25%.

I.2.2 Objetivos específicos.

I.1.2.1. Diseñar la mezcla de concreto estructural elaborado con desechos producto de la escarificación del asfalto (ripio), para una resistencia de 250 kgf/cm².

I.1.2.2. Caracterizar por medio de ensayos de laboratorio el concreto fresco elaborado con desechos producto de la escarificación del asfalto (ripio).

I.1.2.3. Caracterizar por medio de ensayos de laboratorio el concreto endurecido elaborado con desechos producto de la escarificación del asfalto (ripio).

I.1.2.4. Contrastar los resultados obtenidos experimentalmente con valores de ensayos de una mezcla patrón de concreto convencional con resistencia de 250 kgf/cm².

I.3. Aportes.

Como resultado de esta investigación se presentará una alternativa para sustituir parcialmente el agregado fino por desechos producto de la escarificación del asfalto (ripio) en la elaboración del concreto estructural, contribuyendo así a la disminución de la explotación de recursos naturales y a la reducción de costos en la elaboración del concreto.

En relación a los resultados obtenidos, se demostrará la factibilidad del uso del ripio como sustituto parcial del agregado fino en mezclas de concreto y de igual forma, se contribuiría con el ambiente al encontrar una solución ecológica a la problemática que generan los desechos provenientes de la escarificación del asfalto. Asimismo, se podrá disponer de una alternativa al reducir la cantidad del agregado fino proveniente de la explotación desmedida de terrenos de préstamos.

Los resultados que serán obtenidos constituyen una valiosa fuente metodológica para nuevos trabajos de investigación, proporcionarán información que puede ser utilizada como punto de partida de investigaciones complementarias, aportará información a la línea de investigación de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME); finalmente permitirá contar con un análisis del comportamiento mecánico del concreto estructural elaborado con agregado fino (ripio) proveniente de la escarificación del asfalto.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

II.1. Antecedentes.

II.1.1 Estudio de los residuos de concreto estructural (2014-TEG)

Un antecedente importante en esta línea de investigación fue el TEG realizado por Meléndez Naiyit y Pérez Diana (2014) en la Universidad Central de Venezuela. Donde evaluaron el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado grueso y fino por residuos de concreto estructural triturado. Realizaron cuatro diseños de mezclas correspondientes a una mezcla patrón con sustitución del 20%, 30% y 40% respectivamente.

Para el cumplimiento de los objetivos los cilindros fueron sometidos a una serie de ensayos, entre ellos, ensayo a compresión simple, donde fue evaluada la resistencia de los mismos, arrojando a los 28 días una resistencia superior de 250 kgf/cm^2 , cumpliendo con la resistencia de diseño y obtuvieron una dosificación óptima con sustitución parcial de los agregados al 30%.

II.1.2 Arnal, Carlos y Collazo L, Aura, Trabajo Especial de Grado, evaluación de las características de mezclas de concreto sustituyendo parcialmente el agregado fino por escoria de níquel en altas proporciones, 2014.

En este TEG se evaluó el comportamiento de mezclas de concreto con escoria de Níquel como sustituto parcial del agregado fino en porcentajes de 55, 65, 75 y 85% para resistencias de diseño de 210 kgf/cm^2 . Las mezclas se realizaron según la norma COVENIN 354:2001 y las propiedades evaluadas fueron: asentamiento, velocidad de propagación de ondas, peso unitario, índice esclerométrico y resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

En concretos elaborados con escoria de Níquel, la resistencia a compresión disminuyó proporcionalmente conforme se aumentaba el porcentaje de escoria de 55 hasta 85%. Concluyéndose que mientras más escoria de Níquel hay en el concreto, menor Velocidad de Propagación, menor Índice Esclerométrico y esto se traduce en menor resistencia a compresión. La mezcla con el porcentaje óptimo en este Trabajo Especial de Grado fue la del 55% de escoria de níquel como sustituto parcial de la arena alcanzando la mayor resistencia a compresión con un valor de 237,90 Kg/cm²

II.1.3 Azpurua Andrés y Herrera Riberth, Trabajo Especial de Grado, caracterización de mezclas de concreto sustituyendo parcialmente los agregados por el material escarificado de los pavimentos, 2015

En este TEG se evaluó el uso del ripio de asfalto como agregado al concreto con el propósito de reutilizar este material escarificado, se planteó elaborar y caracterizar el comportamiento en mezclas de concreto sustituyendo del 10 % al 15 % el contenido de agregado fino. Las propiedades evaluadas fueron: asentamiento, velocidad de pulso ultrasónico, peso unitario, dureza superficial y resistencia a compresión, ensayos realizados a las edades de 7, 14 y 28 días.

Se obtuvo como resultado que con el aumento del material escarificado las mezclas presentan mayor fluidez y disminución del peso, velocidad de propagación, dureza superficial y resistencia a compresión en un 4% para las de 10% y 5% las de 15% de sustitución a los 28 días. En la tabla anexa se presentan las resistencias obtenidas en este TEG:

Resistencias kgf/cm ²	28 días
Mezcla Patrón	260 kgf/cm ²
Mezcla del 10 %	251 kgf/cm ²
Mezcla del 15 %	248 kgf/cm ²

II.2. Modelo.

El estudio del presente Trabajo Especial de Grado se basará bajo los lineamientos del manual del concreto estructural conforme a la Norma COVENIN 1753-2003, “*Proyecto y diseño de obras en concreto estructural*”, de Joaquín Porrero S. y otros, 2012. Conjuntamente se utilizarán las Normas COVENIN pertinentes en cada una de las actividades que se necesiten.

El contenido de este manual por su objetivo y alcance, se encuentra estrechamente vinculado con los resultados de ensayo en laboratorio, este se encuentra sustentado en los procedimientos de ensayo y mediciones controladas, tal como se establece en las Normas vigentes.

II.3. Fundamentos del método de diseño propuesto.

El método considera, en primer término, un grupo de variables que constituyen su esqueleto fundamental: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Estas se vinculan a través de dos leyes básicas: Relación Triangular y Ley de Abrams. Mediante factores de corrección, también toma en cuenta la influencia de variables que tienen carácter general, tales como tamaño máximo y tipo de agregado.

Una ventaja del método es que no impone limitaciones a la granulometría ni a las proporciones de combinación de los agregados. A diferencia de otros métodos la combinación granulométrica puede ser variada a voluntad (con las restricciones impuestas sólo por los agregados disponibles) a fin de alcanzar el objetivo propuesto que, en la mayoría de los casos, es máxima compacidad y economía.

II.4. Leyes.

II.4.1 Relación triangular.

Manteniendo una rigurosa constancia de todas las otras condiciones y parámetros del

concreto, no expresados en este sencillo esquema, si quisiéramos variar la resistencia del concreto forzosamente hay que modificar la relación agua/cemento, y para lograrlo es necesario cambiar la dosis de cemento o la trabajabilidad, o ambas. Si las exigencias de colocación de un concreto en sus moldes precisaran una trabajabilidad mayor de la prevista por el diseño de la mezcla, y se deseara mantener la misma resistencia del concreto (relación agua/cemento fija), sería necesario aumentar la dosis de cemento, y proporcionalmente la de agua, para lograr mayor trabajabilidad (ver figura 1).

Es decir, las tres variables de la zona de relaciones del triángulo se mueven en conjunto: si se varía una cualquiera de ellas, se modificará también otra o las dos restantes. Analíticamente estas tres variables se pueden considerar como ligadas, con bastante exactitud, por una fórmula exponencial de origen empírico, del tipo: (Porrero y Otros, 2012)

$$C = k * T^n / \alpha^m$$

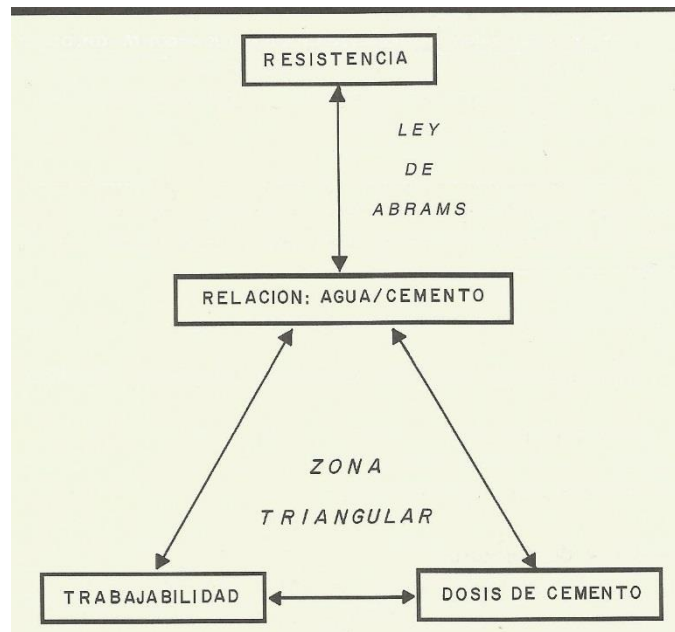


Figura 1. Relación Triangular.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, Porrero y otros, 2012.

II.4.2 Ley de Abrams.

Ley experimental según la cual la resistencia de una mezcla consistente como el concreto, viene determinada por la proporción de la cantidad de agua y de cemento que se añade a dicha mezcla, que resulta ser inversamente proporcional (Porrero y otros, 2012).

La relación agua-cemento es el factor más importante en la resistencia del concreto. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo al tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento.

$$\alpha = a/C$$

Donde, “ α ” es la relación agua/cemento, “a” es la cantidad de agua en kgf/m^3 y “C” es la dosis de cemento expresada en kgf/m^3 .

II.5. Principios estadísticos.

La estadística permite condensar datos y presentarlos en forma probabilística, de manera que sean más fácilmente comprensibles y comparables. Constituye la herramienta más adecuada y útil de la cual se dispone para el control de calidad, tanto en su etapa de planificación como en la interpretación de los resultados. Sin embargo, la estadística en si no permite la toma de decisiones; éstas tienen que basarse en criterios de otra índole.

La información estadística permite calcular las probabilidades de que se excedan, o se alcancen, ciertos límites que deben ser fijados por procedimientos ajenos a ella; estos se encuentran frecuentemente basados en estimaciones, acuerdos o decisiones condicionadas por la experiencia. Lo importante es que una vez convenidos unos límites de calidad, se mantengan invariables en todas las circunstancias, lo cual establecerá una referencia segura a la cual atenderse.

II.6. Conceptos.

II.6.1 Concreto estructural.

El concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual después de cierto tiempo forma una pasta endurecida. Los elementos activos del concreto son el agua y el cemento de los cuales ocurre una reacción química que después de fraguar (hidratación del concreto) alcanza un estado de solidez, y los elementos inertes, arena y grava, cuya función es formar el esqueleto de la mezcla ocupando un gran porcentaje del volumen final del producto. Este material de construcción es el más utilizado por varias razones, posee una gran resistencia y puede ser moldeado gracias a su trabajabilidad. (López, Karla 2014)

Son muchas las características del concreto que interesan; algunas de ellas se hacen críticas en determinadas circunstancias. Sin embargo, desde un punto de vista general, son dos las características o propiedades principales de mayor consideración. La primera es la relativa a la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco, la cual se conoce como manejabilidad, docilidad, trabajabilidad, asentamiento y otros. La segunda propiedad es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto. (Porrero y otros, 2012).

II.6.2 Cemento.

Es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente solo 10 % a 20 % del peso del concreto, siendo el 80 % a 90 % de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto (Porrero y otros, 2012).

II.6.2.1. Cemento Portland.

Según la Norma COVENIN 28-2003 “*Cemento Portland. Requisitos*”. Es el producto obtenido por la pulverización del Clinker portland, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfatos de calcio.

II.6.3 Control de Calidad.

La calidad de un concreto dado va a depender de la calidad de sus componentes, de la calidad de diseño de mezcla, de la preparación y manejo, de los cuidados de uso y mantenimiento, y del grado de satisfacción de las exigencias de su uso.

Los requerimientos normativos sobre la calidad que deben satisfacer los materiales a ser empleados en obras de concreto reforzado, se establecen en el capítulo 3 de la Norma COVENIN 1753, “*Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y diseño*”. (Porrero y otros, 2012).

II.6.4 Trabajabilidad.

Se define como su capacidad para ser manejado, colocado y compactado adecuadamente sin que se produzca segregación. (Porrero y otros, 2012).

II.6.4.1. Cono de Abrams.

El asentamiento medido con el Cono de Abrams, según la Norma COVENIN 339, “*Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams*”, es un índice bastante práctico que mide la trabajabilidad del concreto en estado fresco y valora el grado de influencia de las propiedades reológicas. Esta mide los asentamientos entre 2 cm y 17 cm (ver figura 2).

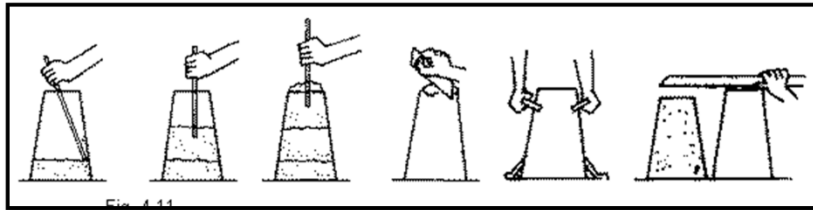


Figura 2. Ensayo de asentamientos del Cono de Abrams.

Fuente: Artículo de Tecnología del hormigón

II.6.4.2. Reología.

Es el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de viscosidad de la mezcla a lo largo del tiempo. En práctica la Reología del concreto se define con base a tres características: fluidez, compactibilidad y estabilidad a la segregación, (Porrero y otros, 2012).

II.6.4.3. Fluidez.

Describe la calidad del fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla (Porrero y otros, 2012).

II.6.4.4. Compactibilidad.

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado (Porrero y otros, 2012).

II.6.4.5. Segregación.

Es la separación de los materiales que constituyen una mezcla de cemento. Entre los principales factores que producen segregación están la diferencia en tamaños de las partículas, la mala distribución granulométrica de los agregados y la cantidad de agua agregada a la mezcla. Otras causas se refieren a los inadecuados procesos del concreto: Mezclado, transporte, colocación y compactación.

La segregación se produce en dos formas: Las partículas gruesas tienden a separarse de las otras por acción de la gravedad, esto ocurre generalmente con mezclas de alto grado de viscosidad.

II.6.4.6. Exudación.

Se conoce también como sangrado y consiste en que parte del agua de mezclado tiende a subirse a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de la evaporación es menor que la velocidad de la exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de la exudación se pueden producir grietas por retracción. (Porrero y otros, 2012).

II.6.4.7. Retracción.

Fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el material con el tiempo, debido principalmente a la pérdida de agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas en el material. (Porrero y otros, 2012).

II.7. Agregados.

Los agregados, también denominados áridos o inertes, son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades específicas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables. Los agregados constituyen la mayor parte de la masa de concreto ya que alcanzan a representar entre el 70% y el 85% de su peso.

Las características de los agregados empleados deberán ser aquellas que beneficien el desarrollo de ciertas propiedades en el concreto entre las cuales destacan: la trabajabilidad, las exigencias del contenido del cemento, la adherencia con la pasta y el desarrollo de resistencias mecánicas.

Los agregados suelen considerarse como constituidos por dos fracciones granulares: una formada por las partículas más finas del conjunto, denominada arena o agregado fino, y la otra formada por los granos grandes, que pueden ser trozos de roca triturada designados como agregado grueso. (Porrero y otros 2012).

II.7.1 Granulometría.

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide, de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto. (Porrero y otros 2012).

II.7.2 Agregados por fracciones.

El tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante cedazos de diferentes aberturas calibradas (Norma COVENIN 254, “Cedazos de Ensayos”), los cuales son colocados en cascadas, con el de mayor abertura arriba, decreciendo progresivamente hasta disponer el de menor abertura abajo. Al tamizar el material, por agitación, a través de esta

serie (Norma COVENIN 255, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”), sus granos se distribuyen según sus tamaños. (Porrero y otros 2012).

II.7.3 Combinación de agregados.

La finalidad principal de una granulometría adecuada, es obtener mezclas trabajables y con pocos espacios entre los granos para que se requiera poca pasta. Estas dos características son, desde cierto punto, opuestas; así un agregado formado por granos que fueron cubos perfecto y de igual tamaño, podría acomodarse sin requerir prácticamente pasta y sin tener retracción, pero no sería trabajable (Porrero y otros 2012).

II.7.4 Tamaño máximo del agregado.

Se denomina tamaño máximo de un agregado al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar el 95 % o más del material (Porrero y otros, 2012).

II.7.5 Peso específico.

Es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, sin incluir huecos entre granos (Normas COVENIN 268 y COVENIN 269) (Porrero y otros, 2012).

II.7.6 Resistencia Promedio Requerida (Fcr).

También denominada “resistencia del diseño de mezcla”, no es otra que la resistencia media esperada para el material a ser elaborado. Como medida de seguridad, esa resistencia siempre debe superar la “resistencia a compresión especificada en el proyecto” (Porrero y otros, 2012).

II.7.7 Proceso de curado.

Es el proceso que se utiliza para mantener la humedad y temperatura en el concreto fresco por un periodo lo suficientemente prolongado como para que el concreto desarrolle su resistencia de diseño, el curado tiene por objetivo evitar un secado prematuro, especialmente bajo la acción de los rayos del sol

II.8. Concreto endurecido.

II.8.1 Peso unitario.

Se calcula al dividir el peso del material entre el volumen que este ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kp/m^3). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico (N/m^3). (Porrero, 2012).

II.8.2 Velocidad de pulso ultrasónico.

Según la norma COVENIN 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”, se debe emplear un aparato de ensayo que cuente con un generador de pulsos eléctricos de alta frecuencia, un transductor (transforma pulsos eléctricos en impulsos mecánicos), un circuito receptor, un dispositivo de calibración y una unidad de lectura que permita registrar tiempos comprendidos en un rango mínimo de 20 microsegundos a 1000 microsegundos (ver figura 3).

Se recomienda que las zonas de aplicación de los transductores estén limpias y secas, se procederá a presionar los transductores firmemente contra la superficie del concreto, se debe aplicar previamente vaselina u otro material similar en la superficie de contacto, a menos, que se utilicen transductores puntuales a fin de garantizar un buen acoplamiento entre el transductor y el concreto.

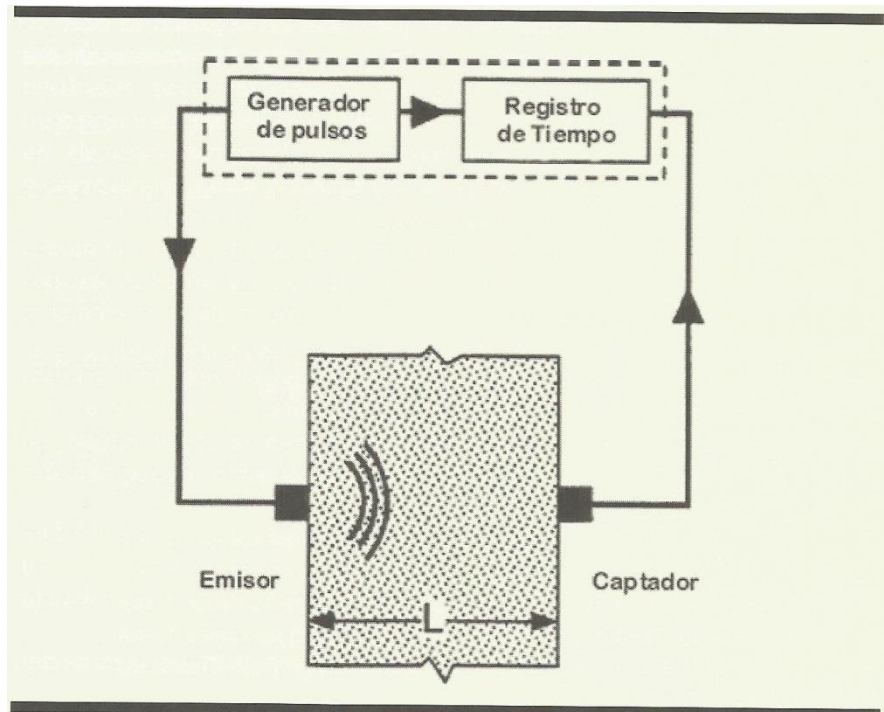


Figura 3. Esquema de la disposición de emisor y receptor en el ensayo ultrasónico.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, Porrero y otros, 2012.

II.8.3 Determinación del número de rebote o ensayo esclerométrico.

Cuando el procedimiento para estimar la resistencia en sitio sea la determinación del rebote mediante ensayos esclerométricos, se recomienda obtener la curva de correlación, elaborando al menos 12 cilindros. La Norma COVENIN 1609 recomienda 20 mediciones para el ensayo en sitio y no menos de 30 cilindros de concreto para trazar la curva de correlación. El cilindro deberá estar sometido a una carga en compresión promedio equivalente de 35 kgf/cm^2 durante la realización de las lecturas de rebote. El contenido de humedad y la textura del cilindro para estos ensayos deben ser similares a las condiciones anticipadas en la obra.

II.8.4 Resistencias Mecánicas.

La resistencia mecánica del concreto se debe a la relación agua/cemento y es la propiedad del material que tiene mayor influencia en los sistemas estructurales, ya que las estructuras de concreto armado se encuentran sometidas a sollicitaciones de compresión, corte, tracción, flexotracción, agentes agresivos, entre otras.

Para detectar o comparar calidades resistentes de cementos con base al ensayo de probetas de concreto, las mezclas deben ser estrictamente iguales en todos los aspectos, incluidas las condiciones del ensayo, excepto naturalmente, el cemento que se desea comparar. Sin embargo, no es práctico ni económico realizar el control de todos los estados tensionales, por lo que se acostumbra a realizar el ensayo destructivo a compresión simple en probetas normalizadas y a partir de los resultados obtenidos se infieren los valores de otras características mecánicas tales como la resistencia a la tracción o al corte.

En normas correspondientes al cálculo de estructuras de concreto armado se correlaciona empíricamente la resistencia del concreto bajo los diversos estados de sollicitación con el valor de la resistencia a compresión simple, por esto es importante conocer esta propiedad y definir sus criterios de interpretación.

II.8.5 Resistencia a la Compresión.

Es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad; para determinarla se emplea el promedio de los resultados de ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Se hace referencia a ensayos válidos porque eventualmente el resultado de alguna o varias probetas puede ser rechazado por ciertas anomalías.

Se debe trabajar siempre con un conjunto mínimo de probetas para contar con una

confiabilidad estadística, el número mínimo acostumbrado suele ser tres por cada edad y condición de ensayo. El número de muestras puede variar dependiendo del grado de probabilidad esperado, de la importancia de la obra y de la precisión con la que se ha venido trabajando.

II.8.6 Resistencia a la tracción indirecta.

Ensayo que se lleva a cabo para determinar la tracción en el concreto por método del ensayo indirecto (ensayo brasileño), por compresión aplicada en una probeta cilíndrica en dos genera

II.8.7 Criterios de aceptación o rechazo.

Aceptación.

Con bases estadísticas se pueden establecer criterios para evaluar los requisitos fundamentales de calidad de un determinado concreto: resistencia de cálculo F_c y su correspondiente fracción defectuosa.

El control de calidad con base en la aplicación de la estadística, tiene razón de ser cuando se dispone de suficiente números de datos, en FONDONORMA 1753-2003 se establecen dos criterios que debe cumplir el concreto independientemente de las características estadísticas del material.

Para que el concreto sea aceptado es necesario que se cumplan, simultáneamente, los requisitos exigidos por los dos criterios que se dan a continuación; ambos se refieren a las resistencias a compresión.

Primer criterio:

Según este, todos y cada uno de los resultados de ensayos individuales (cada uno promedio de dos o más pruebas de cilindros compañeros), debe ser igual o mayor que la resistencia de cálculo F_c disminuida en 35 kgf/cm^2 .

Segundo criterio:

Establece que la media de los resultados de cada tres ensayos consecutivos, “media móvil”, debe ser igual o mayor que la resistencia especificada en el cálculo estructural: F_c .

Rechazo.

Cuando en el primer criterio de aceptación señalado anteriormente se sospeche que el concreto no está cumpliendo con la calidad convenida, se deberán hacer averiguaciones y tomar medidas. Una primera comprobación es determinar si los ensayos fueron bien hechos para evidenciar las posibles fallas.

En caso del concreto colocado, en el que los ensayos mal ejecutados correspondan a las primeras mezclas elaboradas y no se disponga de antecedentes asimilables al caso, puede ser necesario acudir a la extracción y ensayo de algunos núcleos que representen adecuadamente el concreto ya colocado.

En el caso de resultados bien hechos y con resultados anormalmente bajos, aparte de iniciar una inmediata mejoría para los siguientes vaciados, el problema se plantea ya en otros términos. Ahora las decisiones deben ser de tipo estructural, debiendo revisarse si el material puede ser aceptado o no como parte de la estructura, sin que afecte de modo inaceptable la seguridad de la obra o su durabilidad.

II.9. Asfalto

Materiales cementantes, de color marrón oscuro a negro, de consistencia sólida, semisólida o líquida, en los cuales los principales componentes son los bitúmenes, y que son obtenidos como residuo en la refinación del petróleo, o en forma natural (fuente: elaboración propia).

II.10. Escarificación.

Método para retirar la carpeta de mezcla asfáltica y preparar la superficie endurecida para proyectos de excavación, paisajismo o para volver a reimprimir carpetas de asfalto (fuente: elaboración propia).

II.11. Ripio.

Desecho del proceso de escarificación de la carpeta de mezcla asfáltica (fuente: elaboración propia).

II.12. Termoplaticidad.

Propiedad inerte de la mezcla asfáltica que al variar su temperatura el material se endurece o se torna deformable (fuente: elaboración propia).

II.13. Residuos y Aprovechamiento.

El residuo describe al material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servicio para realizar un determinado trabajo. El aprovechamiento nace de la utilización de este residuo para obtener un segundo beneficio de este material (fuente: elaboración propia).

CAPÍTULO III

MÉTODO

En este capítulo se explican de manera detallada los procedimientos y normativas para realizar el análisis completo de diseños de mezclas patrón de concreto estructural y diseños de mezclas de concreto con sustitución parcial del agregado fino por ripio de asfalto. Los porcentajes de sustitución de la arena por este material son los recomendados por el profesor Cesar Peñuela en proporciones del 20% al 25%.

La sustitución del ripio de asfalto en el agregado fino es inicialmente una alternativa para contribuir con la disminución de la explotación de recursos naturales (explotación desmedida de terrenos de préstamos), para la reducción de costos en la elaboración del concreto y, se presenta a su vez como una solución ambiental al reutilizar este desecho en el diseño de mezclas de concreto estructural.

El procedimiento experimental para la sustitución del ripio de asfalto en el agregado fino es un método de sustitución volumétrica, una vez obtenido los volúmenes en el diseño de mezcla patrón se procederá a la sustitución del agregado fino por este material en proporciones del 20% al 25%. El diseño de mezcla alternativa tendrá un agregado no convencional (ripio), sin embargo, este diseño será elaborado bajo los mismos lineamientos que el libro: “Manual del Concreto Estructural” (Joaquín Porrero y otros) expone.

El diseño de la investigación es de tipo experimental y para el logro de los objetivos se apoyará en el siguiente esquema metodológico:

1. Recopilación de información.
2. Búsqueda y almacenamiento de materiales.
3. Caracterización de los agregados.
4. Diseño de mezcla.

5. Mezclado del material.
6. Preparación de cilindros.
7. Caracterización del concreto fresco.
8. Caracterización del concreto endurecido.
9. Comparación con mezclas patrones.
10. Criterios de aceptación y rechazo.

III.1. Recopilación de Información.

Consistió en la búsqueda de información adquirida en el curso de pre-grado, material bibliográfico y digital referente al diseño de mezclas. Se tomó como referencia:

- “*Estudio de los residuos de concreto estructural triturado con granulometría controlada y dosificación parcial baja como alternativa para el diseño de mezclas*”, realizado por Meléndez N. y Pérez D. (2014).
- “*Manual del concreto estructural*”, elaborado por Joaquín Porrero S. y otros (cuarta edición, febrero 2012).
- Se revisaron varios artículos de la Norma COVENIN, los cuales se irán mencionando en cada una de las actividades llevadas a cabo.

III.2. Búsqueda y almacenamiento de materiales.

El material del producto de escarificación del asfalto a ser utilizado en el diseño de mezcla fue donado por la Empresa PAVIMENTOS MIRANDA PAVIMIR C.A. El agregado fino, la piedra picada y el cemento Portland Tipo I fue suministrado por los tesisistas y trasladados hasta las instalaciones del IMME donde se colocaron en sacos sellados y se almacenaron.

El procedimiento fue el siguiente:

- Almacenamiento del material (ripio) en las instalaciones del IMME.
- Compra en ferretería, traslado y almacenamiento del cemento, agregado fino y grueso por parte de los tesisas, en las instalaciones del IMME.

III.3. Caracterización de los agregados (arena lavada, piedra y ripio).

Para la caracterización de los agregados se llevó a cabo los procedimientos establecidos en la norma COVENIN 277-2000, “*Concreto. Agregados. Requisitos*”. La presente norma tiene como objetivo determinar los ensayos para la elaboración del concreto.

El ripio por ser un material cuyo cementante es el asfalto, tiene la limitación de ser solo trabajado a temperatura ambiente, por ende el secado al horno se imposibilitó al momento de caracterizarlo bajo estudios convencionales que se le realizaron al agregado fino (arena lavada). Los ensayos que determinaron el peso específico, el porcentaje de absorción y el contenido de humedad no se le realizaron a este material por la limitante descrita anteriormente. Los estudios de la arena lavada se homologarán a la caracterización del ripio.

III.3.1 Agregado fino y grueso (arena lavada y piedra picada).

III.3.1.1. Granulometría.

Para la realización de este ensayo se siguió el procedimiento establecido en la Norma COVENIN 255-1998 “*Agregados. Determinación de la composición granulométrica*”. El proceso fue dividido en dos partes: una para la granulometría del agregado grueso y otra para la granulometría del agregado fino. La granulometría para el agregado fino se hizo tanto para la arena lavada como para el ripio (ver figura 4).

Los equipos e instrumentos utilizados para la realización de este ensayo fueron los que

se encuentran en las instalaciones del IMME (ver figura 5).

El tamizado del agregado grueso se realizó a través de una cernidora mecánica modelo Gilson Screen (figura 5) pasándose el material por los cedazos 1½”, 1”, ¾”, ½” y ¼”, mientras que el tamizado de los agregados finos se realizó manualmente por los cedazos ¾”, ½”, 3/8”, ¼”, #4, #8, #16, #30, #50 y #100

Se determinó el pasante #200 del agregado fino siguiendo el procedimiento de la Norma COVENIN 258-1988. “Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales”, el cual consistió en realizar un lavado de 500 g de muestra sobre el tamiz #200 y se secó al horno el material retenido sobre dicho tamiz para obtener la diferencia de peso, (figura 6, 7 y 8).

$$\%F = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100$$

(Ecuación 1)

Dónde:

%F: Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200)

w₀: Peso seco original de la muestra (g).

w₁: Peso seco de la muestra después de lavada (g).

Esta actividad tiene como finalidad garantizar la homogeneidad del concreto para obtener la resistencia deseada.

CEDAZO		TAMAÑOS MÁXIMOS: mm (PULGADAS)									
ABERTURA		88,9	76,2	63,5	50,8	38,1	25,4	19,1	12,7	9,53	6,35
mm	pulg	(31/2)	(3)	(21/2)	(2)	(11/2)	(1)	(3/4)	(1/2)	(3/8)	(1/4)
88,9	31/2	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76,2	3	95-80	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-
63,5	21/2	92-60	92-70	100-90	-	-	-	-	-	-	-
50,8	2	85-50	87-55	87-65	100-90	-	-	-	-	-	-
38,1	11/2	76-40	80-45	80-55	87-73	100-90	-	-	-	-	-
25,4	1	68-33	72-38	73-47	77-59	84-70	100-90	-	-	-	-
19,1	3/4	63-30	68-35	68-43	73-53	77-61	90-70	100-90	-	-	-
12,7	1/2	57-28	62-32	62-37	68-44	70-49	75-55	85-65	100-90	-	-
9,53	3/8	53-25	58-30	60-35	65-40	65-43	68-45	75-55	98-90	100-90	-
6,35	1/4	45-22	48-25	58-30	60-35	60-35	60-35	65-45	65-51	73-61	100-90
4,76	#4	45-22	48-25	50-28	55-30	55-30	55-30	60-38	58-42	62-48	65-52
2,38	#8	40-20	43-20	45-20	45-20	45-20	45-20	45-20	43-37	40-26	38-26
1,19	#16	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	31-17	26-14	21-9
0,59	#30	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	20-10	13-5	8-2
0,29	#50	16-7	16-7	16-7	16-7	16-7	16-5	16-5	11-5	7-3	5-1
0,14	#100	8-2	8-2	8-2	8-2	8-2	8-1	8-1	6-1	5-1	2-0

CONCRETOS ALTA RESISTENCIA

Figura 4. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado. Porcentajes de pasantes.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).



Figura 5. Cernidora mecánica modelo Gilson Screen.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril -2015



Figura 6. Tamizado manual del agregado fino por los cedazos $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{4}$ ", #4, #8, #16, #30, #50 y #100.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril -2015.



Figuras 7 y 8. Pasante #200 del agregado fino (arena lavada).

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril -2015.

III.3.1.2. Pesos específicos y porcentajes de absorción.

Para el agregado fino se realizó el ensayo de peso específico y porcentaje de absorción del agregado según la Norma COVENIN 268-1998 “*Agregado Fino. Determinación de la densidad y la absorción*”. Esta norma venezolana contempla el método de ensayo para determinar la densidad aparente, la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca (densidad aparente SSS), la densidad nominal (todas a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y la absorción (después de 24 horas en agua) del agregado fino (ver figura 9).

Para el agregado fino se tomó una muestra representativa de 2000 g, dicha muestra fue sumergida en agua durante aproximadamente 24 horas para así lograr la saturación de los poros. Posteriormente se extendió la muestra en un molde y se secó la superficie del material con una estufa (figura 9), removiendo la muestra con frecuencia, para tratar de garantizar un secado homogéneo; se controló este procedimiento por medio del ensayo del cono especificado en la norma.



Figura 9. Agregado fino: arena lavada en molde; ensayo del cono para obtener una muestra saturada con superficie seca (SSS).

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril -2015.

A continuación se introdujeron 500 g de la muestra saturada con superficie seca (SSS) en el picnómetro, luego se añadió de forma gradual agua retirando las burbujas de aire como lo indica la Norma. Posteriormente se incorporó más agua hasta la marca de calibración donde se determinó la masa del picnómetro con la muestra y el agua (figura 10).



Figura 10. Picnómetro con la muestra y el agua.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril-2015.

Luego se retiró el material del picnómetro y se secó a 100° C en el horno durante aproximadamente 24 horas, para así determinar la masa de la muestra seca. Finalmente se determinó la densidad aparente y la absorción según las ecuaciones 2 y 3.

$$\rho_s = \frac{w_1}{w_a + w - w_p}$$

(Ecuación 2)

$$A = \frac{w - w_1}{w_1} \times 100$$

(Ecuación 3)

Dónde:

ρ_s : Peso específico saturado con superficie seca.

w_1 : Peso en el aire de la muestra secada al horno (g).

w : Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g).

w_a : Peso del picnómetro con agua (g).

w_p : Peso del picnómetro con la muestra y el agua (g).

A: Absorción (%).

Para el agregado grueso, el procedimiento de la Norma COVENIN 269-1998 “*Agregado Grueso. Determinación de la densidad y la absorción*” contempla el método de ensayo para determinar la densidad aparente, la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca (densidad aparente SSS), la densidad nominal (todas a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) y la absorción del agregado grueso.

La muestra del agregado grueso se sumergió en agua durante (24 ± 4) horas aproximadamente para saturar los poros (10.000 g). Se seleccionaron 5.000 g, se removió del agua y se secó en un recipiente adecuado; seguido a esto se determinó su masa una primera vez. Posteriormente, la muestra de 5.000 g se sumergió en agua y se determinó su masa una segunda vez. Finalmente, la muestra se secó al horno y se determinó su masa una tercera vez. Con las masas obtenidas y las fórmulas de este método de ensayo, se calculó la densidad y la absorción (ver figura 11).

$$\rho_s = \frac{w_2}{w_2 - w_3}$$

(Ecuación 4)

$$A = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

(Ecuación 5)

Dónde:

ρ_s : Peso específico saturado con superficie seca.

w_1 : Peso en el aire de la muestra secada al horno (g).

w_2 : Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g).

w_3 : Peso en el agua de la muestra saturada (g).

A: Absorción (%).



Figura 11. Muestra saturada con superficie seca en el aire.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 14-Abril -2015

III.3.1.3. Contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad de los agregados se utilizó la Norma COVENIN 1375-1979 “*Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de humedad total y superficial en el agregado*”. Esta Norma contempla el método de ensayo para determinar

por secado el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, así como también la humedad superficial de la arena lavada y del agregado grueso.

Los agregados fueron colocados en sacos sellados y almacenados bajo techo, de esta manera se tuvo un mejor control de humedad

En términos generales este ensayo consistió en tomar una muestra húmeda del agregado por cada saco; para el agregado grueso se tomaron aproximadamente 2.100 g y para el agregado fino aproximadamente 500 g, luego se colocaron las muestras en el horno para su posterior secado a 100°C, transcurridas 24 horas se determinaron las masas secas de cada muestra.

$$w = \frac{w_o - w_s}{w_s} \times 100$$

(Ecuación 6)

Donde:

w : Porcentaje de humedad (%).

w_o : Peso inicial de la muestra (g).

w_s : Peso de la muestra secada al horno (g).

III.3.2 Agregado grueso.

III.3.2.1 Desgaste de los Ángeles.

Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma COVENIN 266-1977 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de menores de 38,1mm (1 ½”) por medio de la máquina de Los Ángeles” (ver figura 12).

Después de realizar la granulometría, se clasificó el material según su gradación usando la figura 12, luego, se determinó la carga abrasiva o número de esferas a colocar en la máquina de ensayo de abrasión de Los Ángeles (figura 13).

GRADACIONES DE MUESTRAS DE ENSAYO					
TAMAÑO DEL CEDAZO Aberturas Cuadradas		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
Pasa	Retenido en	A	B	C	D
38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	1250 ₊₂₅			
25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ₊₂₅			
19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	1250 ₊₁₀	2500 ₊₁₀		
12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	1250 ₊₁₀	2500 ₊₁₀		
9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")			2500 ₊₁₀	
6,35 mm (1/4")	4,76 mm (#4)			2500 ₊₁₀	
4,76 mm (#4)	2,38 mm (#8)				5000 ₊₁₀
TOTAL		5000 ₊₁₀	5000 ₊₁₀	5000 ₊₁₀	5000 ₊₁₀

Figura 12. Gradaciones de muestras de ensayo.

Fuente: Norma COVENIN 266-1977. Fecha: 21-Abril-2015

GRADACION	NUMEROS DE ESFERAS	PESO DE LA CARGA (g)
A	12	5000 _{+ 25}
B	11	4584 _{+ 25}
C	8	3330 _{+ 20}
D	6	2500 _{+ 15}

Figura 13. Carga abrasiva o número de esferas.

Fuente: Norma COVENIN 266-1977. Fecha: 21-Abril-2015.



Figura 14. Máquina Los Ángeles.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 16-Abril-2015.

Finalmente la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo se expresa como porcentaje del peso original, este valor se tomó como el porcentaje de desgaste y se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

(Ecuación 7)

Dónde:

Pi: Peso inicial de la muestra (kg).

Pf: Peso final de la muestra luego de pasar por el tamiz #12 (kg).

III.4. Diseño de mezcla.

El método utilizado para el diseño de mezcla fue el descrito en el Manual de Concreto Estructural (MCE) de Joaquín Porrero y otros, conforme con la FONDONORMA 1753:2003. Este método considera las siguientes variables fundamentales: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. Estas se vinculan a través de dos leyes básicas: Relación Triangular y Ley de Abrams. Además, toma en cuenta la influencia

del tamaño máximo y tipo de agregado mediante factores de corrección.

Para determinar la dosificación de los agregados en los diseños de mezclas elaborados con un agregado no convencional (ripio), se realizó una sustitución parcial volumétrica en las proporciones del 20% al 25% de este material por el agregado fino, partiendo de los volúmenes de agregados obtenidos para una mezcla patrón, es decir, manteniendo la misma relación agua/cemento (α) y la misma relación beta (β); de esta manera, se diseñaron las nuevas mezclas de concreto con la finalidad de analizar su comportamiento a la resistencia mecánica y compararla con la mezcla patrón (ver figura 15).

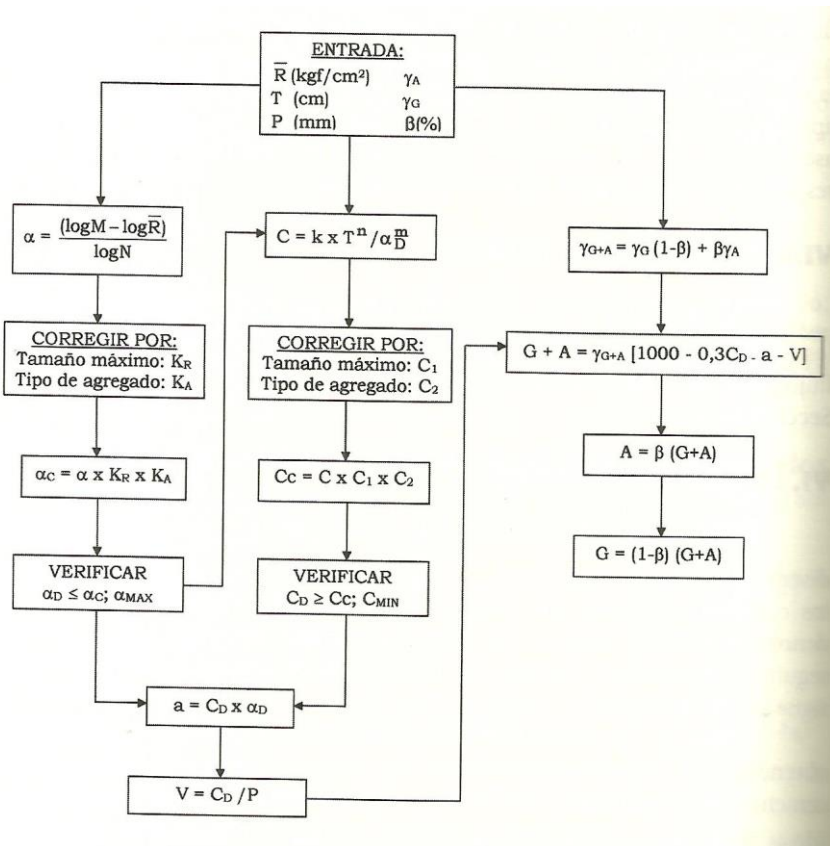


Figura 15. Esquema de los pasos del diseño de mezcla.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

El diseño de mezcla según Porrero y otros, establece la relación entre el agregado fino y grueso (β) de manera independiente del resto del procedimiento, lo que permite cambiar dicha proporción β , sin alterar la dosis del resto de los componentes.

A continuación, se describirá el procedimiento seguido y formulario utilizado en el cálculo de la dosificación de los distintos componentes de las mezcla de concreto:

III.4.1 Definición de parámetros de entrada.

Se establecieron los parámetros de entrada, los cuales constituyen la información básica para llegar a la dosificación de las mezclas deseadas, estos parámetros son:

- \bar{R} = Resistencia del concreto. (kgf/cm^2)
- T = Asentamiento. (cm)
- P = Tamaño máximo del agregado grueso. (mm)
- γ_A = Peso específico de la arena. (kgf/m^3)
- γ_G = Peso específico del agregado grueso. (kgf/m^3)
- % de sustitución del agregado no convencional (litros)

III.4.2 Relación beta (β).

Esta relación se determinó gráficamente a través del método gráfico explicado en el Manual del Concreto Estructural (Porrero y otros 2012), el cual se describirá a continuación:

Sobre cada una de las rectas de proporcionalidad se señalaron los límites correspondientes según la figura en función del tamaño máximo del agregado (ver figura 4). La relación β más apropiada y con la que se trabajó en el diseño de mezcla fue la ubicada a medio camino entre la β promedio y la β límite de la combinación más gruesa

III.4.3 Resistencia Promedio Requerida (F_{cr})

Partiendo de una desviación estándar desconocida, se utilizó la figura 17 del Manual del Concreto Estructural (2012) para obtener la resistencia promedio requerida.

$$F_{cr} = F_c + z\sigma$$

(Ecuación 8)

Donde:

F_{cr} : Resistencia promedio requerida a la compresión (kgf/cm²).

F_c : Resistencia de cálculo o resistencia a compresión especificada en el proyecto (kgf/cm²).

RESISTENCIA ESPECIFICADA A LA COMPRESIÓN F_c (kgf/cm ²)	RESISTENCIA REQUERIDA A LA COMPRESIÓN F_{cr} (kgf/cm ²)		
	CONTROL DE CALIDAD EXCELENTE	CONTROL DE CALIDAD INTERMEDIO	SIN CONTROL DE CALIDAD
Menor de 210 ⁽²⁾	$F_c + 45$	$F_c + 80$	$F_c + 130$
De 210 a 350	$F_c + 60$	$F_c + 95$	$F_c + 170$
Más de 350	$F_c + 75$	$F_c + 110$	$F_c + 210$

Figura 16. Resistencia promedio a la compresión, F_{cr} , cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

Para el diseño de mezcla se trabajó con una $F_c = 250$ kgf/cm² y con un control de calidad excelente, debido a los ensayos realizados a los agregados, garantizando así que las propiedades de cada patrón de diseño se correspondan con las propiedades mecánicas del concreto vaciado.

III.4.3.1. Control de calidad excelente:

A cada lote de agregados se le determina algún índice granulométrico y de calidad; sólo se aceptan los que estén dentro de ciertos límites pre-establecidos. Se controla la humedad

de los agregados. Se tienen en cuenta la marca y lote de cemento. La dosificación es exclusivamente por peso; los sistemas de pesajes son automáticos y son calibrados ocasionalmente. El asentamiento con el cono se mide sistemáticamente y se rechazan las mezclas que no estén dentro de ciertos límites. No se permite la adición de agua posterior al mezclado, ni el espesamiento de las mezclas por tiempo de espera (fuente: Joaquín Porrero y otros).

Finalmente, se utilizó la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = F_c + 60$$

(Ecuación 9)

III.4.4 Ley de Abrams. Relación agua/cemento (α).

Esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, en peso, que se ha simbolizado como “valor α ”, (Porrero y otros, 2012).

$$\alpha = \frac{\log M - \log \bar{R}}{\log N}$$

(Ecuación 10)

Donde:

α : Relación agua /cemento.

R_{28} : Resistencia media esperada a los 28 días (kgf/cm^2)

M y N son constantes que representan las características de los agregados. Para una resistencia a la compresión obtenida a los 28 días del vaciado, se tiene: (ver figura 17)

- $M = 902,5$
- $N = 8,69$

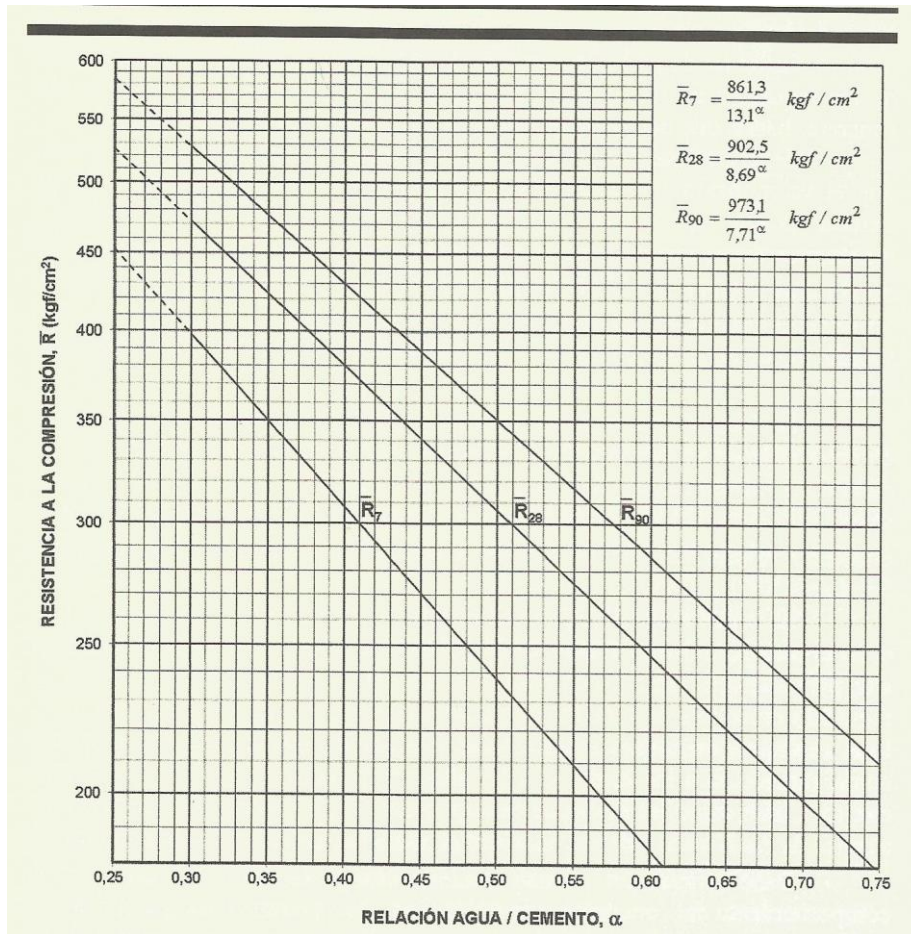


Figura 17. Representación gráfica de la Ley de Abrams.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.5 Corrección de α (α_c).

Alga se corrigió en función del tamaño máximo de los agregados a utilizar y del tipo de agregado (ver tablas 18 y 19).

$$A_C = \alpha * K_R * K_A$$

(Ecuación 11)

- α_c = Alfa corregido.

- K_R = Tamaño máximo del agregado (mm).
- K_A = Tipo de agregado.

K _R FACTOR PARA CORREGIR α POR TAMAÑO MÁXIMO, mm (PULGADAS)									
TAMAÑO	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
MÁXIMO	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 1/2)	(2)	(2 1/2)	(3)
FACTOR K _R	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Figura 18. K_R Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

K _A FACTOR PARA CORREGIR α POR TIPO DE AGREGADO			
GRUESOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO (GRAVA NATURAL)
FINOS			
Arena natural	1,00	0,97	0,91
Arena triturada	1,14	1,10	0,93

Figura 19. K_A Factor para corregir α por tipo de agregado.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.6 Verificación de α_C máximo (α_D).

Se verificó α_C por el deterioro del concreto en condiciones de atmósfera común (ver figura 20).

$$\alpha_D \leq \alpha_C; \alpha_{\text{máximo}}$$

(Ecuación 12)

- $\alpha_{\text{máximo}} = 0,75$ (para condiciones de atmósfera común)

POSIBLE TIPO DE DAÑO	CONDICIONES	α MÁXIMA
Deterioro del concreto Corrosión de las armaduras	Atmósfera común	0,75
	Litoral	0,60
	Alta humedad relativa	0,55
	En contacto con agua no corrosiva	0,50
	En contacto directo con agua marina o por salpicaduras	0,40
	En suelos selenitosos (con yesos)	0,40
	Ambientes industriales	Según el caso
Deterioro por deslavado o permeabilidad	Elementos delgados	0,45
	Concreto en masa*	0,65

Figura 20. Máximos valores de α para distintas condiciones de servicio o ambientales, según COVENIN 1753-2003

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.7 Relación Triangular. Dosis de cemento (C).

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el cono de Abrams (y que puede considerarse como la propiedad de mayor representatividad del concreto en estado fresco) con dos parámetros claves del diseño de mezclas, como son: relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C). (Porrero y otros, 2012).

$$C = \frac{K * T^n}{\alpha_D^m}$$

(Ecuación 13)

Donde K, m y n son constantes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora (ver figura 21).

- C = Dosis de cemento (kgf/m³)
- T = Asentamiento (cm)
- n = 0,16
- m = 1,3
- K = 117,2

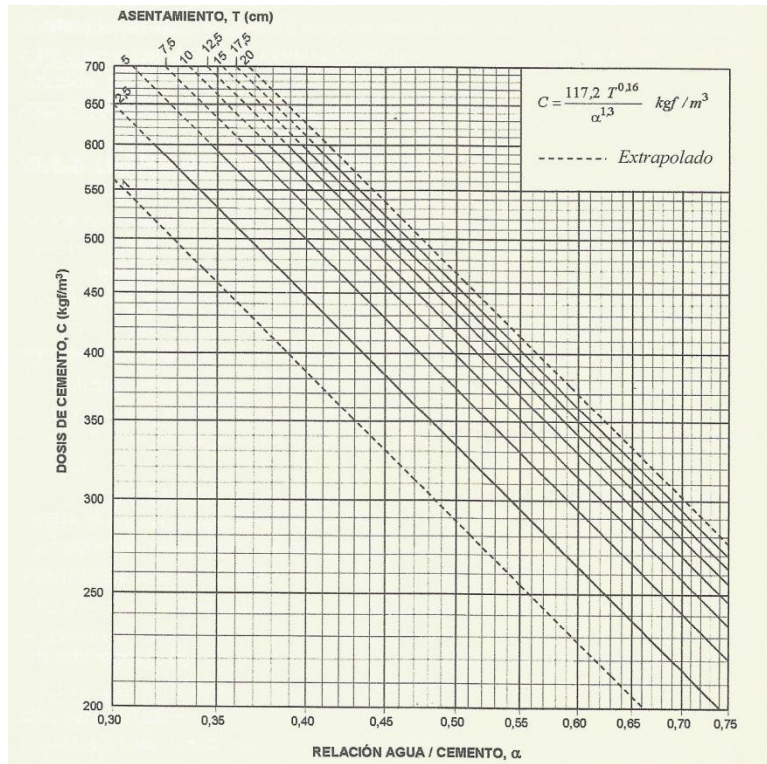


Figura 21. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de cemento (C) y la relación agua/cemento (α).

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.8 Corrección de dosis de cemento (C_C).

Se corrigió C por el tamaño máximo del agregado y el tipo de agregado (ver figuras 22 y 23).

$$C_C = C * C_1 * C_2$$

(Ecuación 14)

- C₁ = factor de corrección por tamaño máximo (mm).
- C₂ = factor de corrección por tipo de agregado.

C₁ FACTOR PARA CORREGIR C POR TAMAÑO MÁXIMO, mm (PULGADAS)									
TAMAÑO	6,35	9,53	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	63,5	76,2
MÁXIMO	(1/4)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)	(1 1/2)	(2)	(2 1/2)	(3)
FACTOR C ₁	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Figura 22. C₁ Factor para corregir C por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

C₂ FACTOR PARA CORREGIR C POR TIPO DE AGREGADO				
	GRUESOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO (GRAVA NATURAL)
FINOS				
Arena natural		1,00	0,93	0,90
Arena triturada		1,28	1,23	0,96

Figura 23. C₂ Factor para corregir α por tamaño máximo, mm (Pulgadas).

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.9 Verificación de dosis mínima de cemento corregida (C_D).

$$C_D \leq C_C; C_{\text{mínimo}}$$

(Ecuación 15)

- Dosis mínima de cemento para cualquier circunstancia de condiciones ambientales $C_{\text{mínimo}} = 270 \text{ kgf/m}^3$ (ver figura 24)

CONDICIONES AMBIENTALES	DOSIS MÍNIMA DE CEMENTO kgf/m ³
En cualquier circunstancia. Los concretos masivos de represa son un caso especial ⁽¹⁾	270
En ambientes agresivos, marinos, o concretos sometidos a desgaste	350

Figura 24. Contenidos mínimos de cemento en función de las condiciones de servicios o ambientales, según COVENIN 1753-2003.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).

III.4.10 Cálculo del volumen absoluto de agua (a).

El peso del agua presente en la mezcla, el cual se simboliza como a, viene dado por:

$$a = C_D * \alpha_D \quad (\text{kgf/m}^3)$$

(Ecuación 16)

A los efectos prácticos, con poco error y en condiciones normales de trabajo, el peso específico del agua puede considerarse igual 1.

III.4.11 Cálculo del volumen del aire atrapado (V).

Aún con una adecuada compactación del concreto, manual o por vibración, en la mezcla siempre queda una pequeña cantidad de aire (V) que se denomina “atrapado”.

$$V = C/P$$

(Ecuación 17)

- C = Dosis de cemento (kgf/m³).
- P = Tamaño máximo del agregado grueso (mm).
- V = Volumen del aire atrapado (l/m³)

III.4.12 Cálculo del peso específico del agregado grueso y fino (A+G).

$$\gamma_{(A+G)} = \gamma_G * (1-\beta) + (\beta * \gamma_A) \quad (\text{kgf/m}^3)$$

(Ecuación 18)

- $\gamma_{(A+G)}$ = peso específico de la combinación de agregados (kgf/m^3).
- β = Relación entre arena y agregado grueso.
- γ_G = Peso específico del agregado grueso (kgf/m^3).
- γ_A = Peso específico del agregado fino (kgf/m^3).

III.4.13 Cálculo del volumen para los agregados.

$$G+A = \gamma_{(A+G)} * (1000 - 0,3C_D - a - V) \quad (\text{kgf/m}^3)$$

(Ecuación 19)

$$A = \beta * (G+A) \quad (\text{kgf/m}^3)$$

(Ecuación 20)

$$G = (1 - \beta) * (G+A) \quad (\text{kgf/m}^3)$$

(Ecuación 21)

- $G+A$ = Volumen de la combinación de agregados.
- A = Volumen del agregado fino (l/m^3).
- G = Volumen del agregado grueso (l/m^3).

III.4.14 Corrección por humedad solo para el agregado grueso y para la arena lavada.

En la práctica los agregados pueden estar en cualquier condición de humedad. A los fines de mantener las proporciones reales de diseño, lo anterior debe ser tomado en consideración en cuanto al peso de los agregados y a la cantidad de agua de mezcla a utilizar.

$$G_{SSS} = G_W \times \frac{(100 + Abg)}{(100 + wb)}$$

(Ecuación 22)

$$A_{SSS} = A_W \times \frac{(100 + Aba)}{(100 + wa)}$$

(Ecuación 23)

Donde:

- G_{SSS} y A_{SSS} = Dosis de agregados (finos y gruesos) saturados con superficie seca (kgf/m^3).
- G_W y A_W = Pesos de los agregado en cualquier condición de humedad (kgf/m^3).
- Abg = Absorción del agregado grueso (%).
- Aba = Absorción del agregado fino (%).
- wa = Humedad del agregado fino (%)
- wb = Humedad del agregado grueso (%).

III.4.15 Agua de mezclado.

$$a_M = a_D + A_{SSS} - A_W + G_{SSS} - G_W$$

(Ecuación 24)

Donde:

- a_D = Dosis de agua calculada en el diseño de mezcla (l/m^3).
- a_M = Cantidad de agua a usar en la mezcla (l/m^3).

III.4.16 Dosificación de los materiales.

Se realizaron 10 Cilindros para el diseño de mezcla patrón, con un porcentaje de desperdicio del 10% y conocido el volumen requerido para la elaboración de los mismos ($0,60 \text{ m}^3$), se determinó el peso de cada uno de los materiales utilizados, a través de la relación

obtenida para 1 m³.

El procedimiento experimental para la sustitución del ripio de asfalto en el agregado fino fue un método de sustitución volumétrica, una vez obtenido los volúmenes del diseño de mezcla patrón, se procedió a la sustitución del agregado fino por el ripio a través de los valores del peso unitario suelto, de esta manera, se obtuvo la relación para la sustitución en proporciones del 20% al 25% de este nuevo material en el nuevo diseño de mezcla.

Se realizaron 10 Cilindros para cada uno de los diseños de mezcla con sustitución parcial del ripio en proporciones de 20% y 25%, conocido el volumen requerido para la elaboración de los mismos: 0,60 m³ por cada diseño de mezcla, se determinó el peso de cada uno de los materiales utilizados, a través de la relación obtenida para 1 m³.

III.5. Mezclado del material.

El mezclado se realizó bajo los lineamientos de la Norma COVENIN 354-2001 “*Método para mezclado en laboratorio*”, que contempla los métodos para el mezclado del concreto en el laboratorio, destinado a estudiar alguna característica de los materiales componentes de la mezcla o las condiciones de esta operación.

Los materiales utilizados fueron: Piedra picada con tamaño máximo de 1”, arena lavada, cemento Portland tipo I y ripio.

El procedimiento que se siguió en el laboratorio para la mezcla patrón en primer lugar fue el pesaje de cada material a utilizar de acuerdo a las dosificaciones obtenidas por el diseño de mezcla correspondiente. El mezclado del concreto se realizó en una mezcladora de eje vertical (figura 26) con capacidad de 75 litros, seguidamente se incorporó la piedra picada, luego se agregó poco menos de la mitad de agua estimada para el diseño de mezcla, arena lavada, cemento y el agua restante, consecutivamente se dejó mezclar durante 3 min, con la

finalidad de cubrir los agregados con la pasta de cemento, produciendo una mezcla homogénea

En laboratorio los tiempos de mezclado son más largos que los requeridos en obra. Se mezcló durante 3 minutos, seguido de tres minutos de reposo, durante los cuales se realizó el ensayo de asentamiento y luego de dos minutos más de mezclado final se procedió a la preparación de los cilindros.



Figura 25. Mezcladora de eje vertical.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 20-Abril-2015

III.5.1 Mezclas.

- Mezcla Patrón (A): 3 muestras por cada mezcla para 7, 14 y 28 días; con cemento Portland tipo I. Resistencia a la compresión $f'_c = 250 \text{ kgf/cm}^2$

- Mezclas con sustitución de ripio: 3 muestras por cada mezcla para 7, 14 y 28 días.
 - Mezcla (B): Cemento Portland tipo I, $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$ sustituyendo el 20% del agregado fino por ripio.
 - Mezcla (C): Cemento Portland tipo I, $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$ sustituyendo el 25% del agregado fino por ripio.

III.6. Preparación de Probetas.

Se procedió al vaciado de las probetas según la Norma COVENIN 338-2002 “*Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*”. Cuyas dimensiones de los moldes metálicos establecen las siguientes medidas: $152,5 \pm 2,5$ mm de diámetro y $305 \pm 6,0$ mm de altura.

Posteriormente se colocó la mezcla en los moldes cilíndricos previamente aceitados con superficie interior lisa, ejecutando el vaciado en tres capas, todas con un espesor aproximado a un tercio de la altura de la probeta, cada capa se compactó dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada penetrando la capa inferior como lo especifica la norma.

Finalmente se procedió a enrasar la superficie del molde con la barra compactadora para retirar el exceso de mezcla y cualquier agregado que sobresaliese de la superficie o rellenar cualquier poro (figura 27).

Se realizó el desencofrado pasado 24 horas y se inició el proceso de curado sumergiendo los cilindros debidamente identificados en un tanque con adición de cal dentro de la Nave de Ensayos (figura 28).



Figura 26. Enrasado de probetas.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 20-
Abril-2015.



Figura 27. Probetas desencofradas.
Fuente: Elaboración propia. Fecha: 21-
Abril-2015.

III.7. Caracterización del concreto fresco.

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (período plástico). En ese lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente o por vibración (Porrero y otros, 2012).

III.7.1 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams.

Este procedimiento se realizó en base a la Norma COVENIN 339-2003 “*Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams*”. Esta Norma Venezolana contempla el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco, mediante el uso del Cono de Abrams. El rango de asentamiento adecuado para aplicar el

método va desde $\frac{1}{2}$ ” (15 mm) a 8” (203 mm).

1. Se humedeció el interior del cono de Abrams y fue colocado sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente. El molde se sujetó firmemente por las aletas con los pies y se llenó con la mezcla de concreto, vaciando ésta en tres capas cuyos espesores deben ser aproximadamente un tercio de la altura del molde.

2. Se compactó cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada.

3. Luego de haber colocado y compactado la última capa, se enrasó utilizando la misma barra compactadora. Inmediatamente se retiró el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical evitando movimientos laterales en un tiempo de 5 a 10 segundos recomendados por Norma.

4. Finalmente el asentamiento se midió tomando la diferencia de altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (figura 29).



Figura 28. Medición del asentamiento.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 20-Abril-2015.

III.8. Caracterización del concreto endurecido.

III.8.1 Peso unitario.

Antes de ensayar los cilindros a compresión se midió con un Vernier tres veces la altura en distintos sentidos y se midió tres veces el diámetro en tres puntos de su longitud (en cada base y en el centro), con la finalidad de promediar estos valores y calcular el volumen de los mismos. Luego, se determinó su masa en una balanza (ver figuras 29 y 30).

Con los datos obtenidos se procedió a calcular el peso unitario de los cilindros:

$$W_E = \frac{W_T}{V_C}$$

(Ecuación 25)

- W_E = Peso unitario del concreto endurecido (kgf/m^3).
- W_T = Peso total del cilindro (kgf).
- V_C = Volumen del cilindro (m^3).

El peso unitario por muestra, corresponde al promedio del peso unitario de las tres probetas que la conforman.



Figura 29. Medición del diámetro de la probeta con vernier. Fuente: Elaboración propia. Fecha: 27-Abril-2015.



Figura 30. Peso de la probeta en estado endurecido. Fuente: Elaboración propia.

Fecha: 27-Abril-2015

III.8.2 Ensayo a compresión.

El ensayo a compresión de las probetas se realizó según la Norma COVENIN 338-2002 “Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. El procedimiento para este ensayo consistió en colocar el cilindro en la máquina de ensayos, ubicándolo entre dos discos confinados con almohadillas de neopreno arriba y abajo, nivelando la parte superior de la probeta y garantizando una distribución uniforme de la carga a aplicar en toda su sección transversal. Finalmente se procedió a comprimir cada uno de los cilindros hasta lograr la falla (ver figuras 31, 32 y 33).

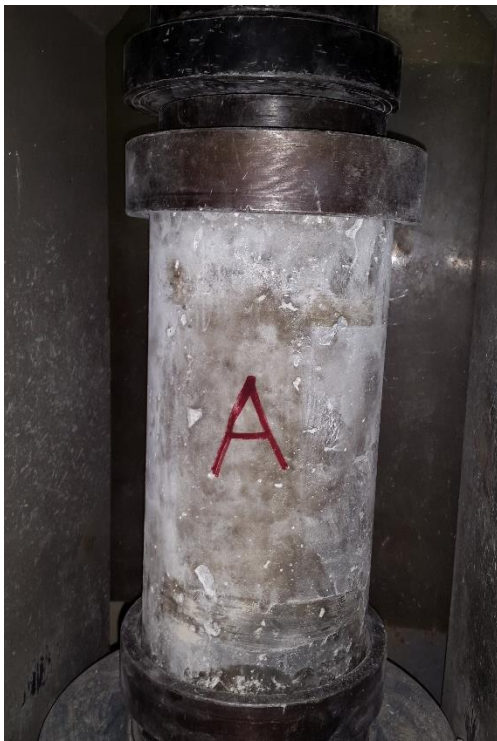


Figura 31. Preparación de probeta para el ensayo a compresión a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

Fecha: 18-Mayo-2015



Figura 32. Falla de la probeta después de aplicarle la carga a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

Fecha: 18-mayo-2015

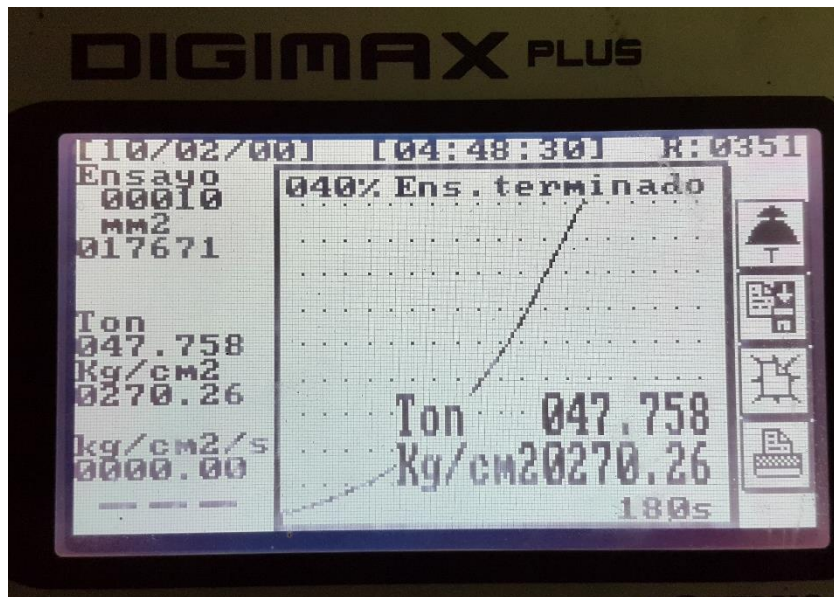


Figura 33. Resistencia a la compresión de la mezcla patrón a la edad de 28 días.

Fuente: Elaboración propia. Fecha 18-Mayo-2015.

En el anexo 1 se observan los diagramas de fallas de cilindros sometidos a compresión donde según el tipo de falla se refleja la aplicación de la carga sobre las probetas.

Cabe destacar que el área obtenida de la sección transversal fue calculada con el promedio del diámetro y la altura tomada de cada una de las muestras.

Los cilindros fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días luego del vaciado, fueron tomadas 3 probetas por cada diseño de mezcla y 3 para el módulo de elasticidad.

La resistencia a la compresión de cada cilindro se calculó de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(Ecuación 26)

- σ = Resistencia a la compresión del cilindro (kgf/cm²).
- P = Carga máxima aplicada al cilindro (kgf).
- A = Área transversal del cilindro (cm²).

III.8.3 Velocidad del pulso ultrasónico.

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando. La técnica más común y confiable consiste en colocar, en dos caras opuestas del elemento a estudiar, enfrentados, el emisor en una y el receptor de las ondas ultrasónicas en la otra. Ambos están conectados a un dispositivo que, por interferencia electrónica, indica el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de la onda. Dividiendo ese tiempo entre la distancia que hay entre las caras donde los terminales hacen contacto con el concreto, se obtiene la velocidad característica del material en esa zona, generalmente expresada en m/s. Por ser transmisión directa, a mayor velocidad corresponde una mayor densidad y mayor resistencia.

Se siguió el procedimiento indicado en la Norma COVENIN 1681-1980, “*Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto*”. De esta manera, al determinar la velocidad de pulso en distintas zonas, se pueden aplicar criterios sobre la uniformidad del material.

En primer lugar se calibró el equipo según las especificaciones del fabricante, seguidamente se verificó que en las zonas donde se colocaron los transductores estuviesen limpias, lisas, secas y libres de revestimiento. Luego, se procedió a lubricar los transductores con suficiente vaselina para colocarlos firmemente sobre la superficie de concreto, se garantizó un buen acoplamiento entre el transductor y el concreto, inmediatamente se tomó el tiempo de propagación de la onda (ver figura 34, 35 y 36).

La velocidad de propagación de la onda fue calculada a través de la siguiente ecuación:

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

(Ecuación 27)

Donde:

- V = Velocidad de propagación de la onda (km/s).
- L = Base de medición (mm).
- T = Tiempo de paso de la onda (microsegundos).

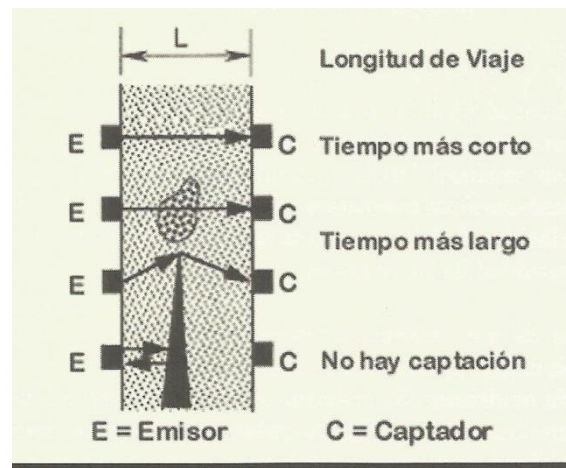


Figura 34. Influencia de los defectos en el tiempo de viaje de un impulso ultrasónico.

Fuente: Manual del Concreto Estructural, (Porrero y otros, 2012).



Figura 35. Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 18-Mayo-2015.



Figura 36 Velocidad del pulso ultrasónico medido en μs (microsegundos) en mezcla patrón.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 18-Mayo-2015.

Es importante destacar que las lecturas del generador de pulsos vienen dadas en microsegundos (μs), por lo tanto se realizaron los cambios de unidades pertinentes para la obtención de los resultados en (m/s).

III.8.4 Determinación del índice esclerométrico.

Esta determinación se realizó con la ayuda de un aparato denominado esclerómetro (instrumento que sirve para medir la dureza de los cuerpos), capaz de registrar el rebote de cierta masa que impacta sobre la superficie del concreto. Al producirse el impacto, parte de la energía cinética que trae la masa se convierte en deformación de la superficie de concreto; el remanente es lo que da lugar al rebote, por lo que es evidente que, a mayor rebote mayor dureza superficial y presumiblemente, mayor resistencia del concreto. Este procedimiento se efectuó de acuerdo con la Norma COVENIN 1609-1980, “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecido”.

Para este ensayo se limpiaron las superficies de los cilindros, evitando impurezas y partículas sueltas, seguidamente se procedió a marcar 10 puntos en ambas caras de cada cilindro para efectuar las lecturas alejando las marcas entre si aproximadamente 3 cm según la Norma, evitando los sitios perceptiblemente defectuosos como poros y oquedades, posteriormente se situó cada cilindro en la máquina de ensayo, imprimiendo una carga de 10 toneladas para impedir su movilidad como lo indica la norma.

Finalmente para tratar de lograr uniformidad en este ensayo se colocó el esclerómetro en cada punto ya marcado, manteniendo la perpendicularidad del mismo con el cilindro. Una vez colocado, se presionó contra la superficie del cilindro lentamente y en forma continua hasta la liberación del resorte y producción del impacto (figura 38).



Figura 37. Ensayo esclerométrico para una mezcla del 20% de ripio a los 28 días

Fuente: Elaboración propia. Fecha 19-Mayo-2015.

III.8.5 Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad se realizó siguiendo el procedimiento que indica la Norma COVENIN 1468-1979, “*Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto*”. Para este ensayo se tomaron los cilindros a los 28 días de curado, luego se determinó el diámetro promedio para cada uno, siguiendo las especificaciones de la Norma.

Posteriormente se calculó el 40% de la carga promedio de rotura. Una vez fijado el cilindro en la máquina de ensayo, se procedió a colocar el extensómetro, observando la lectura de aplicación de los ciclos de cargas para cada 1000 kgf, se mantuvo la carga por aproximadamente un minuto hasta que se redujo gradualmente.

Seguidamente se tomaron las lecturas del extensómetro, aplicando la carga una tercera

vez a la misma velocidad, de forma continua y sin interrupción y se tomaron las lecturas del extensómetro para cada ciclo de carga (ver figura 38 y 39).

Finalmente se elaboró un gráfico esfuerzo-deformación unitario, con los resultados obtenidos en el último ciclo de ensayo. El módulo de elasticidad secante se calculó mediante la siguiente expresión:

$$E_1 = \frac{S_C - S_D}{E_C - 5 * 10^{-5}}$$

(Ecuación 28)

Donde:

- E_1 = Módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas (kgf/cm²).
- S_C = Esfuerzo correspondiente a la carga C (kgf/cm²).
- S_D = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de $5 * 10^{-5}$ mm/mm (kgf/cm²).
- E_C = Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo S_C .



Figura 38. Extensómetro en una cara del cilindro.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 19-Mayo-2015.



Figura 39. Extensómetro en cara posterior del cilindro.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 19-Mayo-2015.

III.8.6 Resistencia a la tracción indirecta.

La resistencia a la tracción indirecta se determinó siguiendo el procedimiento que indica la Norma COVENIN 341-79, “*Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas*”. Para este ensayo se marcaron líneas diametrales en cada extremo de la probeta, se determinó el diámetro y su longitud, se colocaron tiras de contacto entre la probeta y las placas de apoyo, seguido a esto se le aplicó la velocidad de carga sin impacto, de forma continua a una velocidad constante, $0,5 \pm 0,2$ kg/cm² por segundo, hasta la falla de la probeta. El esfuerzo de tracción de la probeta se calculó (ver figura 40 y 41):

$$\sigma_{br} = \frac{2 P}{\pi L d}$$

(Ecuación 29)

Donde:

σ_{br} = Esfuerzo de tracción, en kg/cm².

P = Carga máxima aplicada, por la máquina de ensayo, en kg.

L = Longitud, en cm.

d = diámetro, en cm.



Figura 40. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 19-Mayo-2015.



Figura 41. Falla de cilindro por tracción indirecta.

Fuente: Elaboración propia. Fecha: 19-Mayo-2015

III.9. Comparación con mezcla patrón.

De los resultados obtenidos se realizaron gráficos comparativos de las propiedades y características de los distintos ensayos realizados a las mezclas de concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. De esta forma las propiedades a comparar fueron las siguientes:

1. Mezclas de concreto en estado fresco: asentamiento.
2. Mezclas de concreto en estado endurecido: peso unitario, velocidad de pulso ultrasónico, índice esclerométrico, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción indirecta.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo III de este trabajo especial de grado, los mismos se presentaron mediante tablas y gráficos.

IV.1. Caracterización de los agregados.

IV.1.1 Granulometría.

Tabla 1. Granulometría del ripio (producto de la escarificación del asfalto).

Tipo de Agregado:		Ripio			Límites Granulométricos	
Peso Total:		500 g				
Procedencia:		Pavimentos Miranda Pavimir C.A				
Abertura (mm)	Cedazo (pulg)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasante	inferior	Superior
12,7	1/2	8,5	1,7200	98,2800		
9,53	3/8	15,00	3,0352	95,2448		100
6,35	1/4	52,60	10,6435	84,6013	100	100
4,76	# 4	36,80	7,4464	77,1549	85	100
2,38	# 8	106,50	21,5500	55,6049	60	95
1,19	# 16	111,40	22,5415	33,0634	40	80
0,595	# 30	88,00	17,8066	15,2568	20	60
0,298	# 50	47,80	9,6722	5,5846	8	30
0,149	# 100	18,00	3,6423	1,9423	2	10
	# 200	9,60	1,9425	0,0000	0	5
	Total	494,20	100			

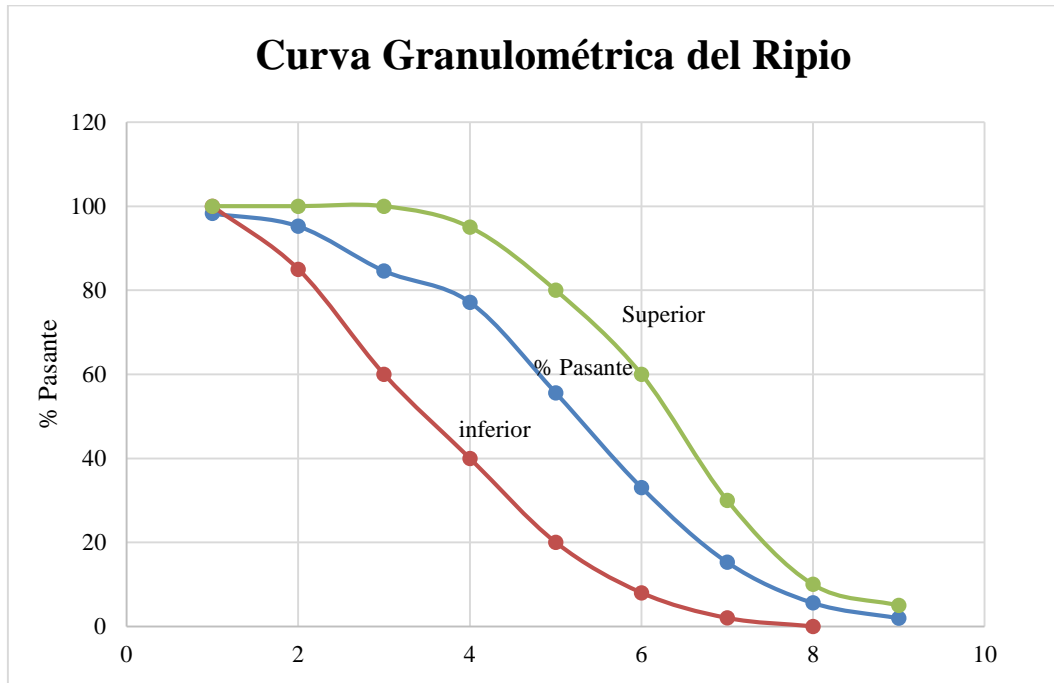


Gráfico 1. Curva granulométrica del ripio.

Tabla 2. Granulometría de la arena.

Tipo de Agregado:		Arena Natural Lavada			Límites Granulométricos	
Peso Total:		500 g				
Procedencia:		Adquirido por los tesistas.				
Abertura (mm)	Cedazo (pulg)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasante	inferior	Superior
12,7	1/2	13,6	1,3630	98,6370		
9,53	3/8	44,70	4,4799	94,1571		100
6,35	1/4	131,50	13,1790	80,9781	100	100
4,76	# 4	111,60	11,1846	69,7935	85	100
2,38	# 8	204,50	20,4951	49,2984	60	95
1,19	# 16	174,90	17,5286	31,7698	40	80
0,595	# 30	155,70	15,6043	16,1655	20	60
0,298	# 50	89,40	8,9597	7,2058	8	30
0,149	# 100	39,80	3,9888	3,217	2	10
	# 200	32,10	3,2171	0,0000	0	5
	Total	997,80	100,0001			

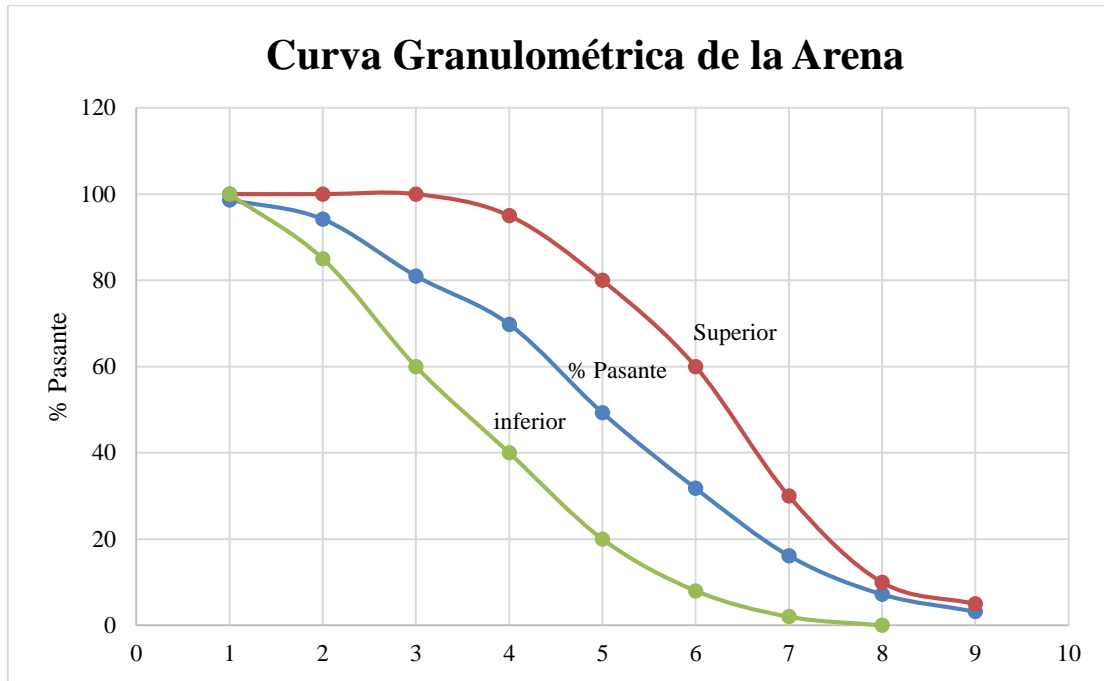


Gráfico 2. Curva granulométrica de la arena

Tabla 3. Granulometría de la piedra.

Tipo de Agregado:		Piedra Picada		
Peso Total:		20.000 g		
Procedencia:		IMME - UCV		
Abertura (mm)	Cedazo (pulg)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Pasante
38,1	1 1/2"		0	100
25,4	1"	750	3,7594	96,2406
19,0	3/4"	8900	44,6115	51,6291
12,7	1/2"	9050	45,3634	6,2657
9,53	3/8"	1100,00	5,5138	0,7519
6,35	1/4"	150,00	0,7519	0,0000
Total		19950,00	100	

Tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso.

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS, AGREGADO GRUESO								
CEDAZO	N° 0		N° 1		N° 2		N° 3	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
3"								100
2 1/2"						100	90	100
2"					95	100	65	95
1 1/2"				100	75	90	20	60
1"			90	100	35	70	0	10
3/4"		100	50	90	5	30	0	5
1/2"	80	100	15	45	0	10		
3/8"	50	85	0	20	0	5		
1/4"	25	60	0	7				
#4	15	40						
#8	5	20						
#16	0	10						
#30	0	5						

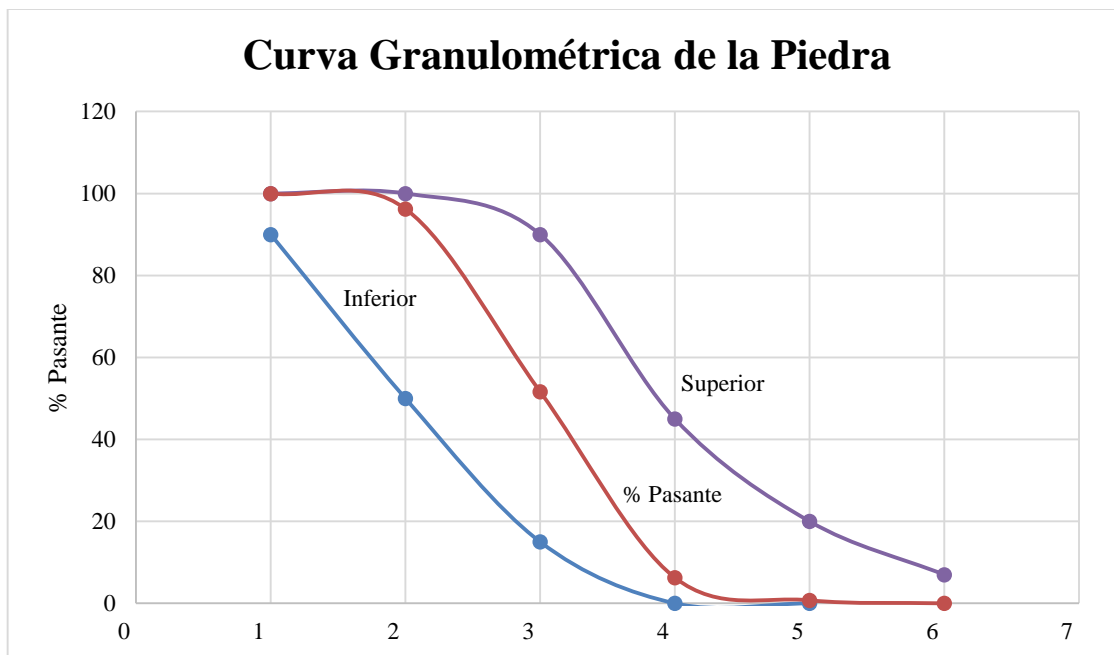


Gráfico 3. Curva granulométrica del agregado grueso.

Tabla 5. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (# 200).

PASANTE # 200	
Fase	Masa (gr)
Material seco de la muestra	500
Material seco retenido en el pasante # 200	477
% de material pasante del tamiz # 200	4,82%

Tabla 5.1. Desgaste de Los Ángeles.

DESGASTE DE LOS ÁNGELES	
Clase B	11 Esferas
	500 Revoluciones
Peso con 1/2" (g)	2500
Peso con 3/8" (g)	2500
Retenido tamiz # 12	3760
% de Desgaste	24,80%

IV.1.2 Absorción y peso específico.

Tabla 6. Absorción y peso específico de la arena.

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA ARENA	
Fase	Valor
W_1 = Peso en el aire de la muestra seca (g)	489,00
W = Peso en el aire de la saturada con superficie seca (g)	500,00
W_a = Peso del picnómetro con agua (g)	1274,60
W_p = Peso del picnómetro con la muestra y el agua (g)	1580,50
γ_s = Peso específico saturado con superficie seca	2,52
A= Porcentaje de absorción (%)	2,25%

Tabla 7. Absorción y peso específico de la piedra.

PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA	
Fase	Valor
W_1 = Peso en el aire de la muestra seca (g)	5426,00
W_2 = Peso en el aire de la saturada con superficie seca (g)	5472,30
W_3 = Peso en el agua de la muestra saturada (g)	3353,60
γ_s = Peso específico saturado con superficie seca	2,58
A= Porcentaje de absorción (%)	0,85%

IV.1.3 Peso unitario.

Tabla 8. Peso unitario del ripio.

PESO UNITARIO SUELTO DEL RIPIO	
Fase	Valor
Peso de la muestra suelta (kg)	3,72
Volumen de recipiente normalizado (l)	2,81
Peso unitario suelto (kg/l)	1,33

Tabla 9. Peso unitario de la arena.

PESO UNITARIO SUELTO DE LA ARENA	
Fase	Valor
Peso de la muestra suelta (kg)	3,66
Volumen de recipiente normalizado (l)	2,81
Peso unitario suelto (kg/l)	1,30

Tabla 10. Peso unitario de la piedra.

PESO UNITARIO SUELTO DE LA PIEDRA	
Fase	Valor
Peso de la muestra suelta (kg)	20,10
Volumen de recipiente normalizado (l)	14,40
Peso unitario suelto (kg/l)	1,40

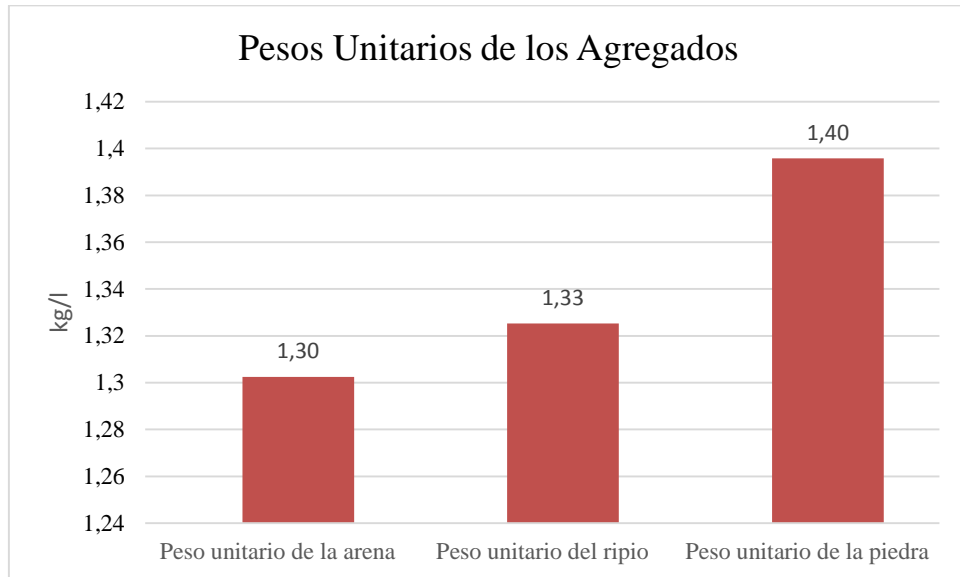


Gráfico 4. Pesos unitarios de los agregados.

IV.1.4 Contenido de Humedad.

Tabla 11. Contenido de humedad de la arena.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ARENA	
Fase	Valor
Peso de la muestra húmeda.(g)	500,00
Peso de la muestra secada al horno(g)	454,80
% contenido de humedad	9,94%

Tabla 12. Contenido de humedad de la piedra.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PIEDRA	
Fase	Valor
Peso de la muestra húmeda(g)	2286,60
Peso de la muestra secada al horno(g)	2284,70
% contenido humedad	0,08%

No se lograron obtener valores de humedad para el ripio del asfalto por su propiedad

termoplástica, se imposibilitó su estudio, ya que al aumentar la temperatura del material, el mismo presentó una condición poco trabajable.

IV.2. Diseño de mezcla.

IV.2.1 Relación β .

Tabla 13. Relación β .

Relación beta		Promedio	Diseño
72,00	69,39	70,04	61,86

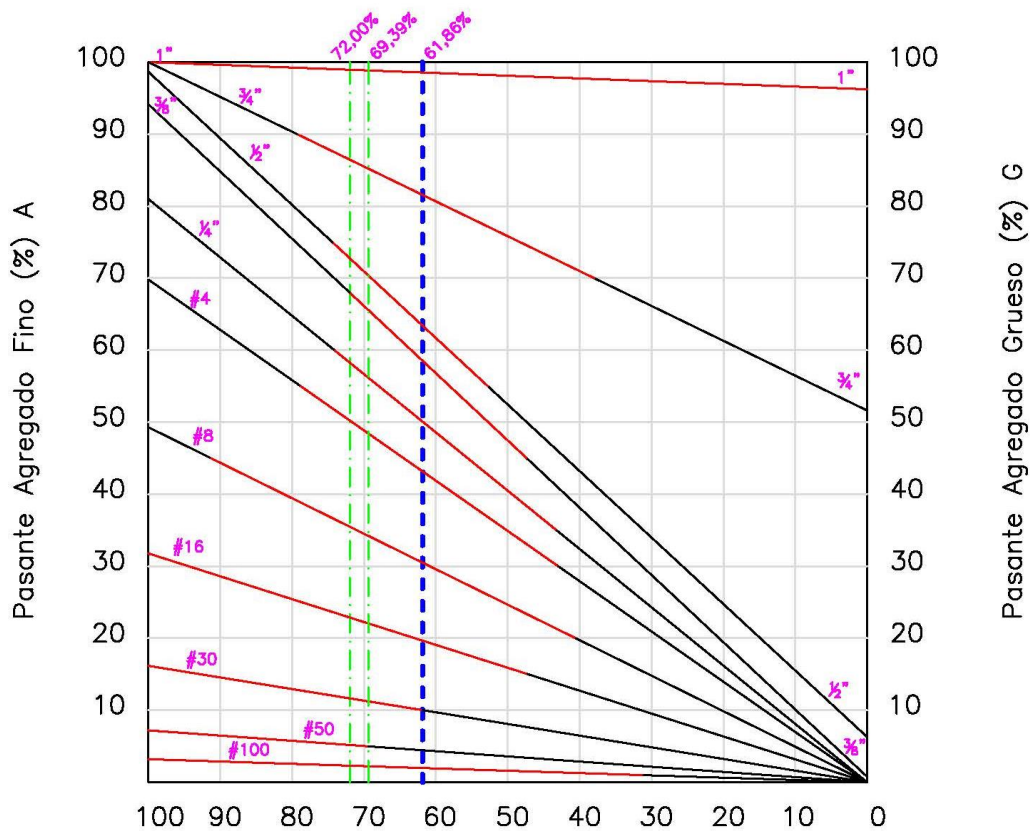


Gráfico 5. Relación arena /agregado grueso, β (%).

IV.2.2 Componentes del diseño de mezcla.

Tabla 14. Datos de entrada.

DATOS DE ENTRADA		
DISEÑO DE MEZCLA	Fcr (kgf/cm ²)	310
	T (cm)	10
	P (mm)	25,4
	γ_A (sss)	2,5193
	γ_G (sss)	2,58
	β (%)	0,618601
CÁLCULO DE α	M	902,5
	N	8,69
CÁLCULO DE C	K	117,2
	m	1,3
	n	0,16
CORRECCIÓN POR HUMEDAD	Ab A	2,2494
	Ab G	0,8532
	w A	9,93
	w G	0,0888

Tabla 15. Diseño de mezcla.

DISEÑO DE MEZCLA		
		Corregido (K_r y $k_a = 1$); (C_1 y $C_2 = 1$)
		Verificado ($\alpha \leq 0,75$); ($C_d \geq 270$ kgf/m³)
α	0,4942	0,49
C	428,2257	428,23
a	209,8327	209,83
v	16,8594	16,86
γ_{G+A}	2,5425	2,54
G+A	1637,8961	1637,90
A _{sss}	1013,2066	1013,21
G _{sss}	624,6934	624,69

Tabla 16. Corrección del agua de la mezcla.

CORRECCIÓN AGUA DE MEZCLA	
Aw	1089,32
Gw	619,96
am	138,45

IV.2.3 Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.

Tabla 17. Dosificación de los materiales para la mezcla patrón.

DOSIFICACIÓN						
Componentes	Peso Específico	Peso Unitario	1 m³		60 litros	
			Peso (kgf/m³)	l/m³	Peso (kgf/m³)	l/m³
Cemento	0,40		428,23	171,76	25,69	10,31
Agua	1,00		138,45	138,45	8,31	8,31
Arena	2,5400	1,3000	1089,32	428,87	65,36	25,73
Piedra	2,5400		619,96	244,08	37,20	14,64
Aire					16,86	
			Total Volumen:	1000		60,00

IV.2.4 Relación volumétrica entre la arena lavada y el ripio.

Tabla 18. Relación volumétrica para la sustitución del ripio en proporciones del 20% en la nueva mezcla.

RELACIÓN VOLUMÉTRICA	
Escarificación de Asfalto 20 %	
Componente	60 litros
Arena Total	50,28
Arena Parcial	40,22
Ripio	10,06

Tabla 19. Relación volumétrica para la sustitución del ripio en proporciones del 25% en la nueva mezcla.

Escarificación de Asfalto 25 %	
Componente	60 litros
Arena Total	50,28
Arena Parcial	37,71
Ripio	12,57

IV.2.5 Dosificación de los materiales para 60 litros de mezcla con 20% y 25% de ripio.

Tabla 20. Dosificación de los materiales para mezclas con sustitución del 20% y 25% del ripio por el agregado fino (arena lavada).

DOSIFICACIÓN PARA 60 LITROS			
Componente	Mezcla Patrón	Mezcla 20 %	Mezcla 25%
CEMENTO (kg)	25,69	25,69	25,69
AGUA (lts)	8,31	8,31	8,31
PIEDRA (kg)	37,20	37,20	37,20
ARENA (kg)	65,36	52,29	49,02
RIPIO DE ASFALTO (kg)		13,33	16,66
AIRE (lts)	1,01	1,01	1,01

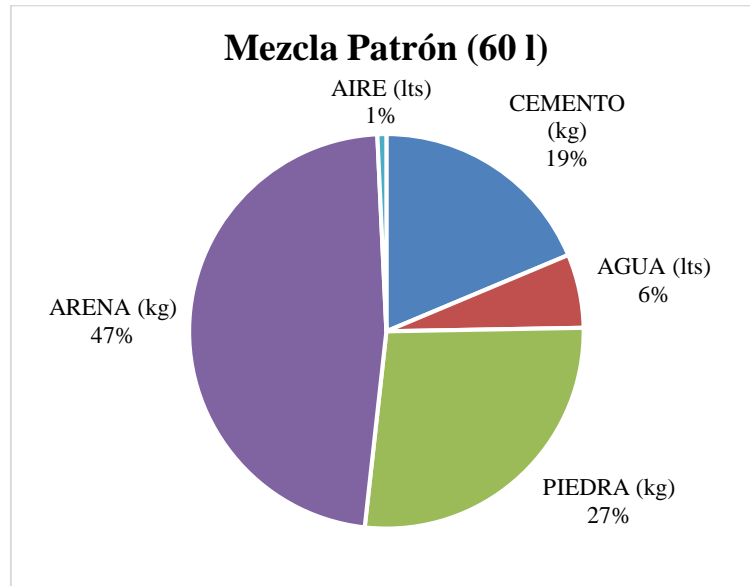


Gráfico 6. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla patrón.

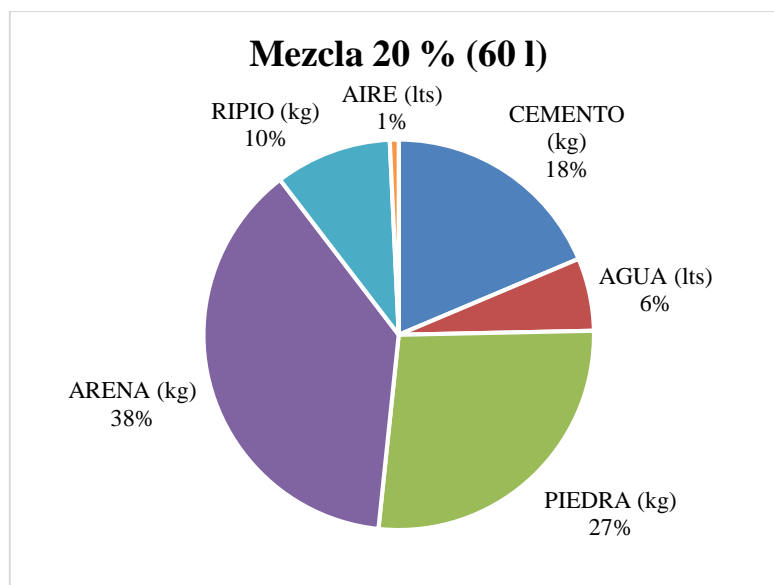


Gráfico 7. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla con 20% de ripio.

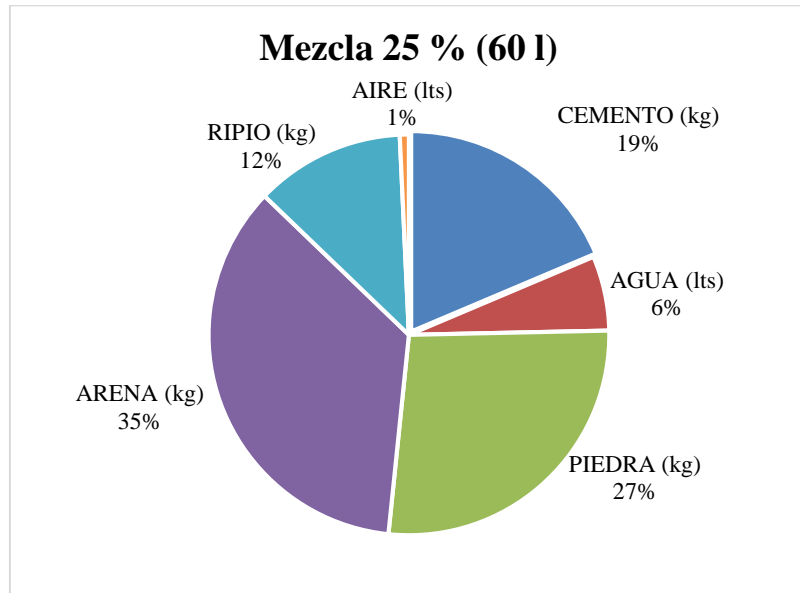


Gráfico 8. Dosificación en % de los materiales que intervienen en la mezcla con 25% de ripio.

IV.3. Cómputos Métricos

Tabla 21. Cómputos métricos para las mezclas (bsf). Mayo 2015

COMPUTOS MÉTRICOS DE MEZCLAS								
Componente	Unidad	Precio Unitario (Bs)	Mezcla Patrón		Mezcla 20 %		Mezcla 25 %	
			Cantidad	Precio (bsf)	Cantidad	Precio (bsf)	Cantidad	Precio (bsf)
CEMENTO	Saco	300	0,60	181,37	0,60	181,37	0,60	181,37
AGUA	lts	1,2	8,31	9,97	8,31	9,97	8,31	9,97
PIEDRA	m ³	1530	0,03	40,94	0,03	40,94	0,03	40,94
ARENA	m ³	1676	0,05	84,26	0,04	67,41	0,04	63,20
Total				316,54		299,69		295,48

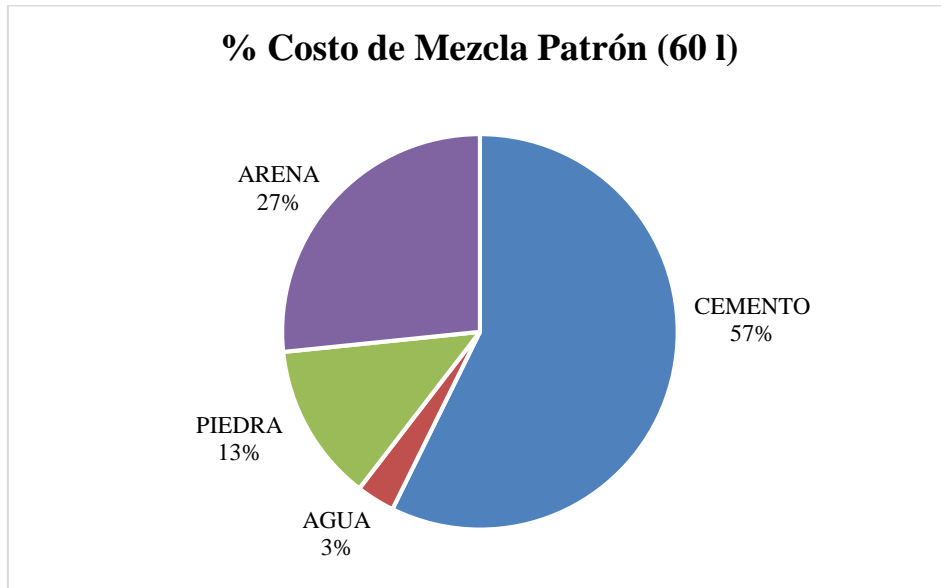


Gráfico 9. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla patrón. Mayo 2015

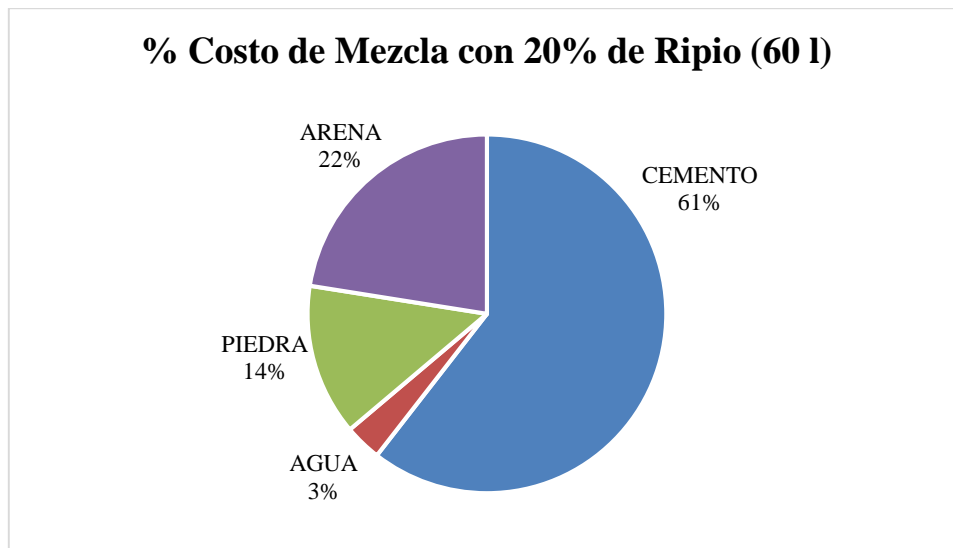


Gráfico 10. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla con ripio (sustituyendo 20% del ripio en el agregado fino). Mayo 2015

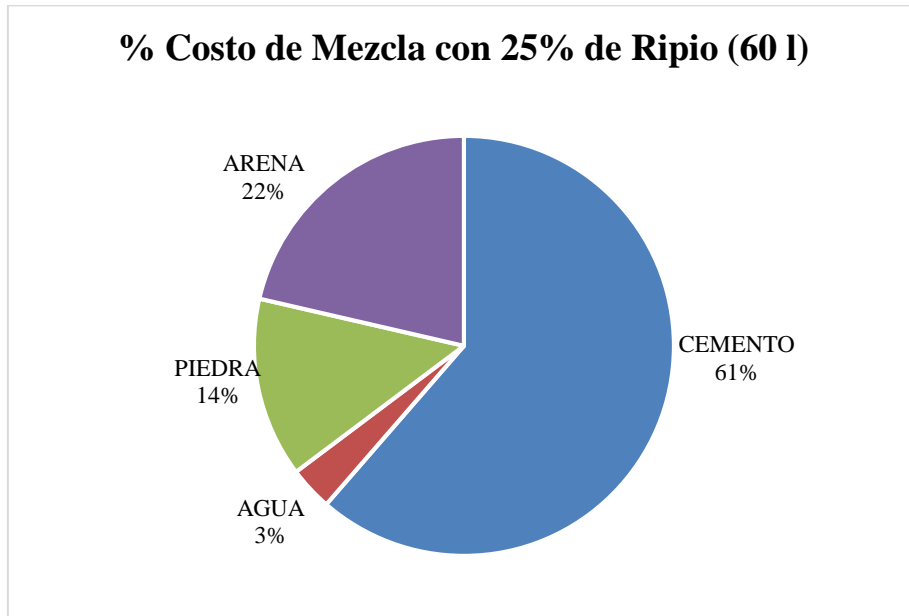


Gráfico 11. Incidencia del porcentaje de materiales en el costo de la mezcla con ripio (sustituyendo 25% del ripio en el agregado fino). Mayo 2015

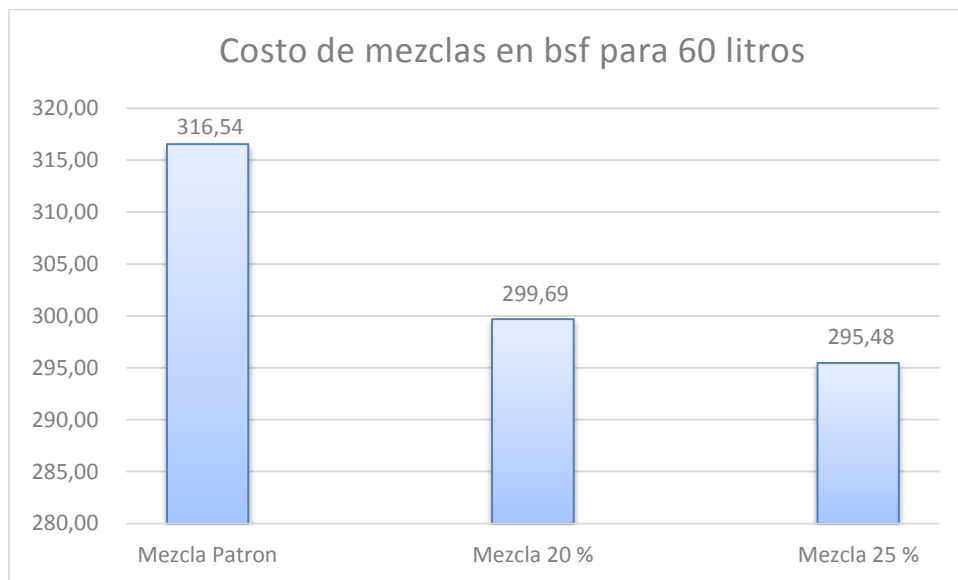


Gráfico 12. Costo de mezclas en bolívares para 60 litros. Mayo 2015.

NOTA: Costos obtenidos de datos no oficiales para el mes de Mayo del 2015. Para este

TEG se desprecian los costos de transporte, adecuación y colocación del ripio de asfalto.

IV.4. Caracterización del concreto fresco.

IV.4.1 Medición de asentamiento.

Tabla 22. Asentamiento para las tres mezclas.

Cono de Abrams	
	Asentamiento (cm)
Mezcla Patrón	8
Mezcla 20%	9,5
Mezcla 25%	10

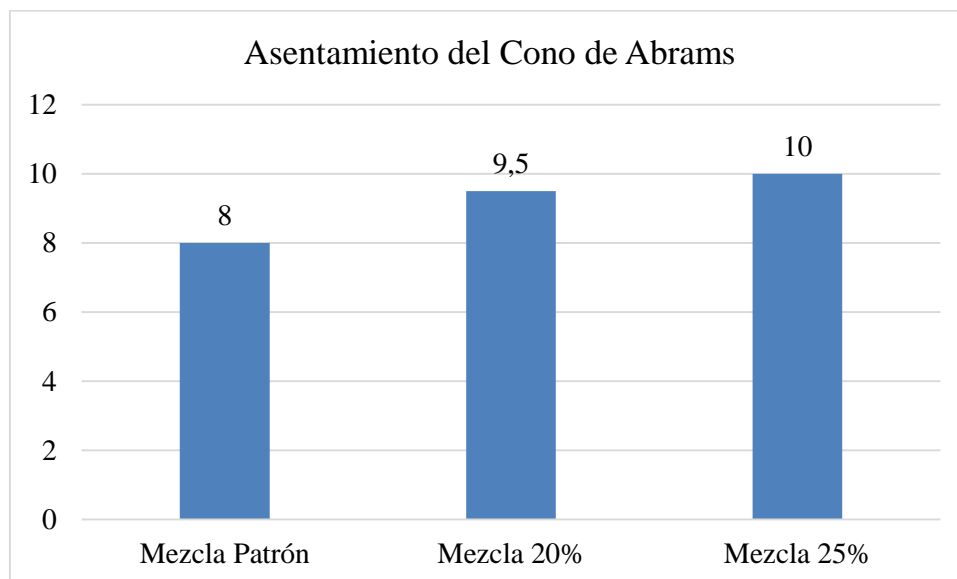


Gráfico 13. Comparación de los asentamientos obtenidos.

IV.5. Caracterización del concreto endurecido.

IV.5.1 Peso unitario de las mezclas en concreto endurecido.

Tabla 23. Dimensiones y masas de las probetas a los 7 días.

7 DIAS	MEDICIONES ($\pm 0,002$ cm)				Masa (kg)
	Inferior	Medio	Superior	Altura	
Mezcla Patrón A	15,08	15,08	15,02	30,18	12,413
Mezcla Patrón B	15,18	15,15	15,17	30,12	12,418
Mezcla Patrón C	15,11	15,04	15,02	30,34	12,387
Mezcla 20 % A	14,99	15,08	15,11	29,98	12,050
Mezcla 20 % B	15,08	15,05	15,04	30,10	12,146
Mezcla 20 % C	15,06	15,06	15,04	29,98	12,055
Mezcla 25 % A	15,02	15,04	15,11	30,37	12,187
Mezcla 25 % B	15,09	15,06	15,06	30,31	12,108
Mezcla 25 % C	15,05	15,08	15,04	30,28	11,544

Tabla 24. Peso unitario promedio a los 7 días.

7 DIAS	Área cm ²	Altura cm	Volumen	Masa Kg	Peso Unitario (kg/m ³)
Mezcla Patrón	178,93	30,21	0,005406	12,4060	2.294,83
Mezcla 20 %	178,07	30,02	0,005345	12,0837	2.260,61
Mezcla 25 %	178,15	30,32	0,005402	11,9463	2.211,50

Tabla 25. Dimensiones y masas de las probetas a los 14 días.

14 DIAS	MEDICIONES (±0,002 cm)				Masa (kg)
	Inferior	Medio	Superior	Altura	
Mezcla Patrón A	15,20	15,18	15,19	30,44	12,449
Mezcla Patrón B	15,14	15,12	15,11	30,25	12,333
Mezcla Patrón C	15,10	15,05	15,06	30,47	12,267
Mezcla 20 % A	15,02	15,05	15,08	30,38	12,178
Mezcla 20 % B	15,06	15,04	15,05	30,09	12,108
Mezcla 20 % C	15,19	15,16	15,11	30,53	12,342
Mezcla 25 % A	15,09	15,10	15,08	30,50	12,065
Mezcla 25 % B	15,05	15,05	15,05	30,64	12,086
Mezcla 25 % C	15,08	15,07	15,02	30,37	12,019

Tabla 26. Peso unitario promedio a los 14 días.

14 DIAS	Área cm ²	Altura cm	Volumen	Masa Kg	Peso Unitario (kg/m ³)
Mezcla Patrón	179,73	30,39	0,005462	12,3497	2.261,11
Mezcla 20 %	178,73	30,33	0,005422	12,2093	2.252,01
Mezcla 25 %	178,27	30,50	0,005438	12,0567	2.217,26

Tabla 27. Dimensiones y masas de las probetas a los 28 días.

28 DIAS	MEDICIONES (±0,002 cm)				Masa (kg)
	Inferior	Medio	Superior	Altura	
Mezcla Patrón A	15,10	15,08	15,07	29,97	12,314
Mezcla Patrón B	15,19	15,17	15,14	30,29	12,465
Mezcla Patrón C	15,06	15,00	14,96	30,48	12,477
Mezcla 20 % A	15,04	14,98	14,96	30,33	12,206
Mezcla 20 % B	15,06	15,10	15,04	30,43	12,303
Mezcla 20 % C	15,05	15,05	15,04	30,04	12,037
Mezcla 25 % A	15,22	15,17	15,15	30,39	12,319
Mezcla 25 % B	15,01	14,97	15,00	30,32	12,035
Mezcla 25 % C	15,11	15,10	15,11	30,43	12,136

Tabla 28. Peso unitario promedio a los 28 días.

28 DIAS	Área cm ²	Altura cm	Volumen	Masa Kg	Peso Unitario (kg/m ³)
Mezcla Patron	178,71	30,25	0,005405	12,4187	2.297,53
Mezcla 20 %	177,55	30,26	0,005373	12,1820	2.267,09
Mezcla 25 %	178,95	30,38	0,005437	12,1633	2.237,27

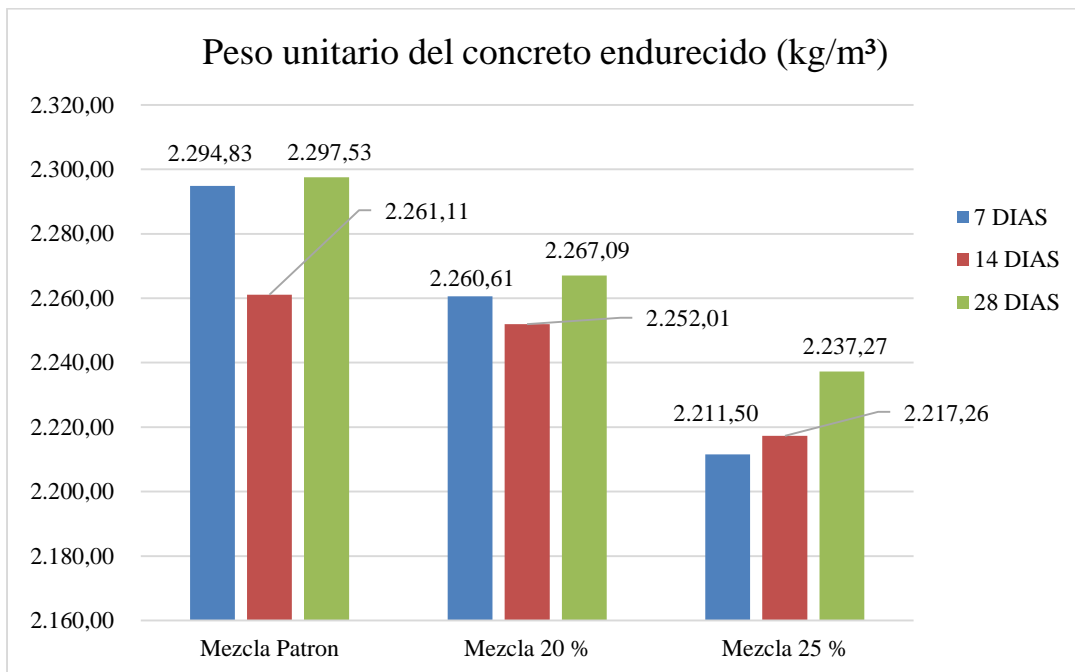


Gráfico 14. Comparación del peso unitario para las diferentes mezclas en sus 3 edades (7, 14 y 28 días)

IV.5.2 Ensayo a compresión.

Tabla 29. Ensayo a compresión promedio a los 7 días.

7 DIAS	MEDICIONES ($\pm 0,002$ cm)		Masa (kg)	Carga (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)
	Área	Altura			
Mezcla Patrón A	178,07	30,18	12,413	30.364	170,52
Mezcla Patrón B	180,67	30,12	12,418	30.955	171,34
Mezcla Patrón C	178,04	30,34	12,387	35.905	201,67
Mezcla 20 % A	178,19	29,98	12,050	29.766	167,04
Mezcla 20 % B	178,08	30,10	12,146	25.657	144,08
Mezcla 20 % C	177,93	29,98	12,055	28.172	158,34
Mezcla 25 % A	178,07	30,37	12,187	28.154	158,11
Mezcla 25 % B	178,39	30,31	12,108	25.926	145,33
Mezcla 25 % C	178,00	30,28	11,544	25.150	141,29

Tabla 30. Resistencia promedio a los 7 días.

7 DIAS	Área cm ²	Carga (kg)	Resistencia (kgf/cm ²)
Mezcla Patrón	178,93	32.408	181,12
Mezcla 20 %	178,07	27.865	156,49
Mezcla 25 %	178,15	26.410	148,24

Tabla 31. Ensayo a compresión promedio a los 14 días.

14 DIAS	MEDICIONES ($\pm 0,002$ cm)		Masa (kg)	Carga (Kg)	Resistencia (kg/cm ²)
	Área	Altura			
Mezcla Patrón A	181,25	30,44	12,449	44.475	245,38
Mezcla Patrón B	179,57	30,25	12,333	38.965	216,99
Mezcla Patrón C	178,38	30,47	12,267	40.586	227,52
Mezcla 20 % A	177,88	30,38	12,178	35.756	201,01
Mezcla 20 % B	177,91	30,09	12,108	35.024	196,86
Mezcla 20 % C	180,40	30,53	12,342	39.698	220,05
Mezcla 25 % A	178,84	30,50	12,065	34.930	195,31
Mezcla 25 % B	177,88	30,64	12,086	37.716	212,03
Mezcla 25 % C	178,10	30,37	12,019	28.307	158,94

Tabla 32. Resistencia promedio a los 14 días.

14 DIAS	Área cm²	Carga (kg)	Resistencia (kgf/cm²)
Mezcla Patrón	179,73	41.342	230,02
Mezcla 20 %	178,73	36.826	206,04
Mezcla 25 %	178,27	33.651	188,76

Tabla 33. Ensayo a compresión promedio a los 28 días.

28 DIAS	MEDICIONES (±0,002 cm)		Masa (kg)	Carga (Kg)	Resistencia (kg/cm²)
	Área	Altura			
Mezcla Patrón A	178,62	29,97	12,314	47.758	267,37
Mezcla Patrón B	180,66	30,29	12,465	46.378	256,72
Mezcla Patrón C	176,84	30,48	12,477	46.790	264,59
Mezcla 20 % A	176,55	30,33	12,206	41.380	234,39
Mezcla 20 % B	178,33	30,43	12,303	39.513	221,57
Mezcla 20 % C	177,76	30,04	12,037	38.897	218,81
Mezcla 25 % A	180,99	30,39	12,319	39.779	219,78
Mezcla 25 % B	176,58	30,32	12,035	36.782	208,30
Mezcla 25 % C	179,29	30,43	12,136	37.061	206,71

Tabla 34. Resistencia promedio a los 28 días.

	Área cm²	Carga (kg)	Resistencia (kgf/cm²)
Mezcla Patrón	178,71	46.975	262,86
Mezcla 20 %	177,55	39.930	224,90
Mezcla 25 %	178,95	37.874	211,64

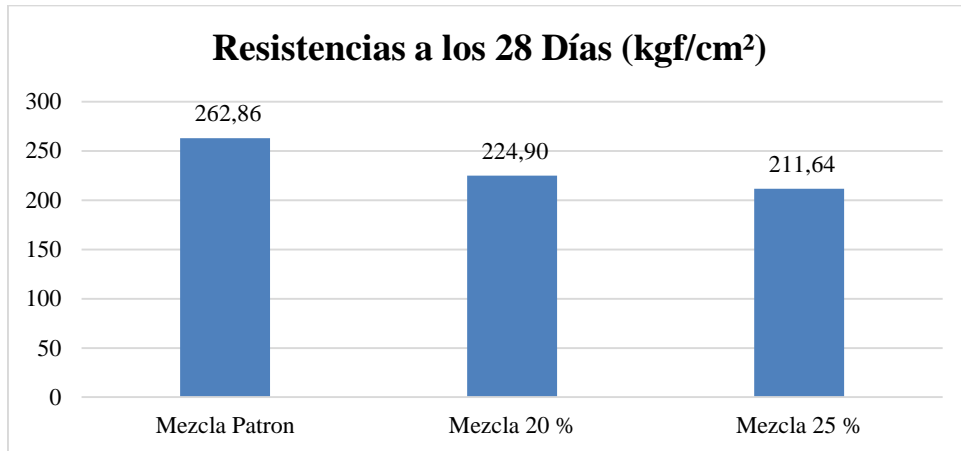


Gráfico 15. Resistencia a los 28 días (kgf/cm²)

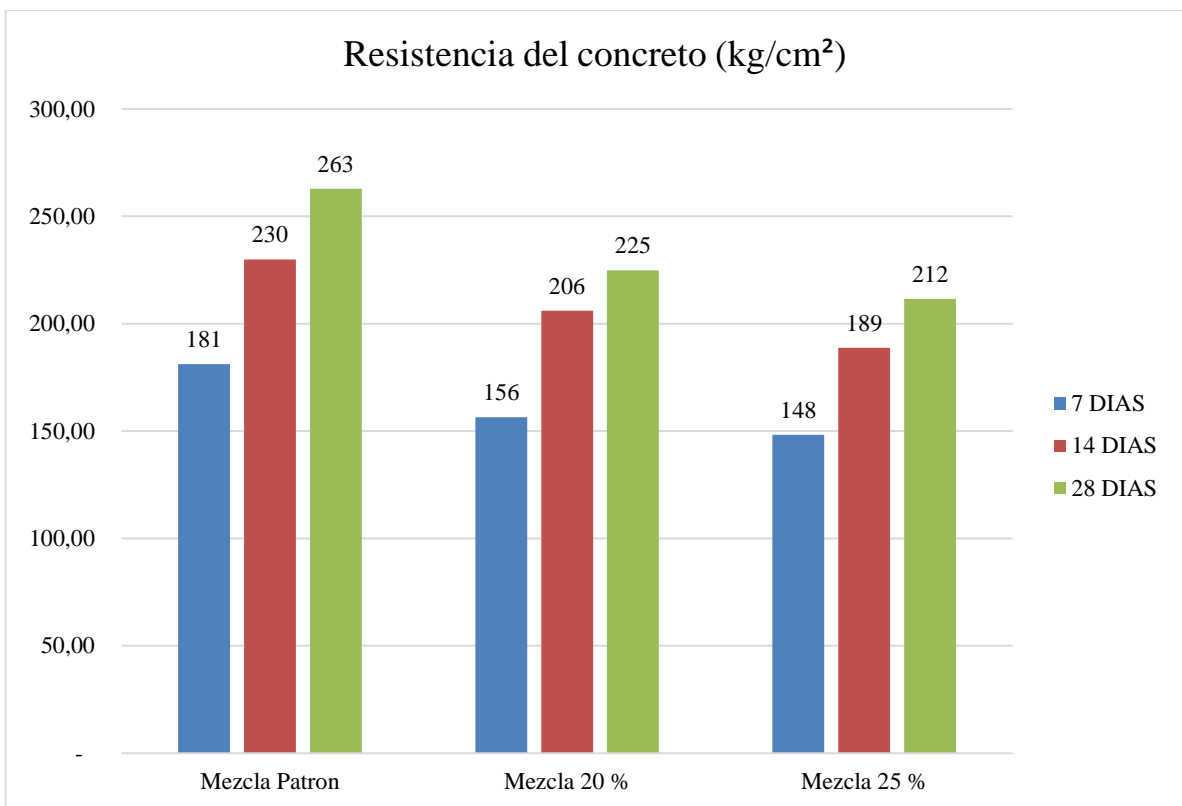


Gráfico 16. Comparación de resistencias a los 7, 14 y 28 días en las 3 mezclas.

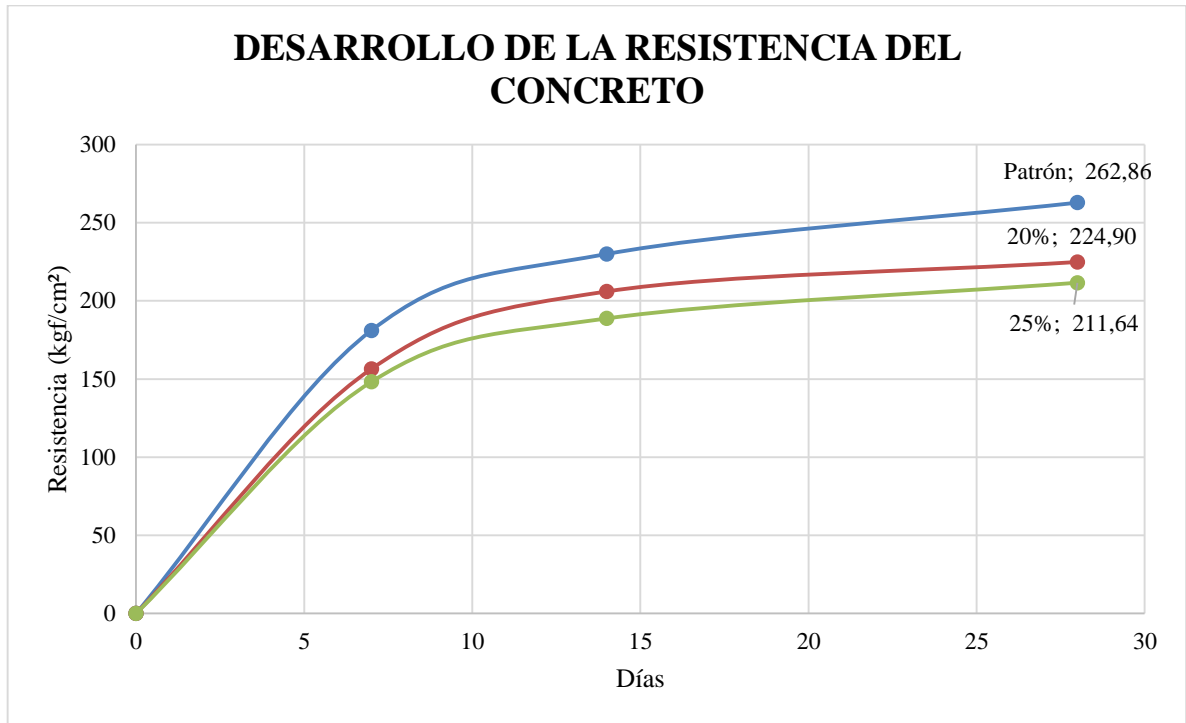


Gráfico 17. Desarrollo de la resistencia del concreto.

IV.5.3 Velocidad del pulso ultrasónico

Tabla 35. Velocidad de pulso ultrasónico a la edad de 28 días.

Probeta	Altura (mm)	Promedio (mm)	Tiempo (μ)	Velocidad (m/s)	%
Mezcla Patrón	301,28	301,11	72,8	4136	100%
	301,12				
	300,92				
Mezcla 20 %	301,00	300,60	77,2	3894	94,14%
	300,52				
	300,28				
Mezcla 25 %	301,60	301,12	77,4	3890	94,06%
	300,90				
	300,86				

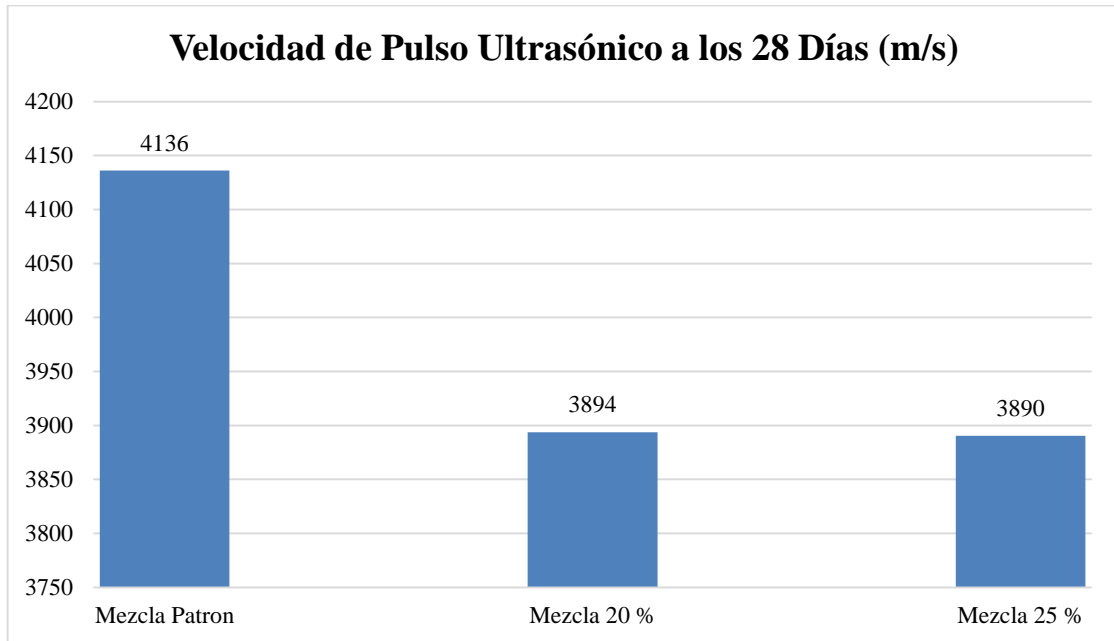


Gráfico 18. Velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a los 28 días.

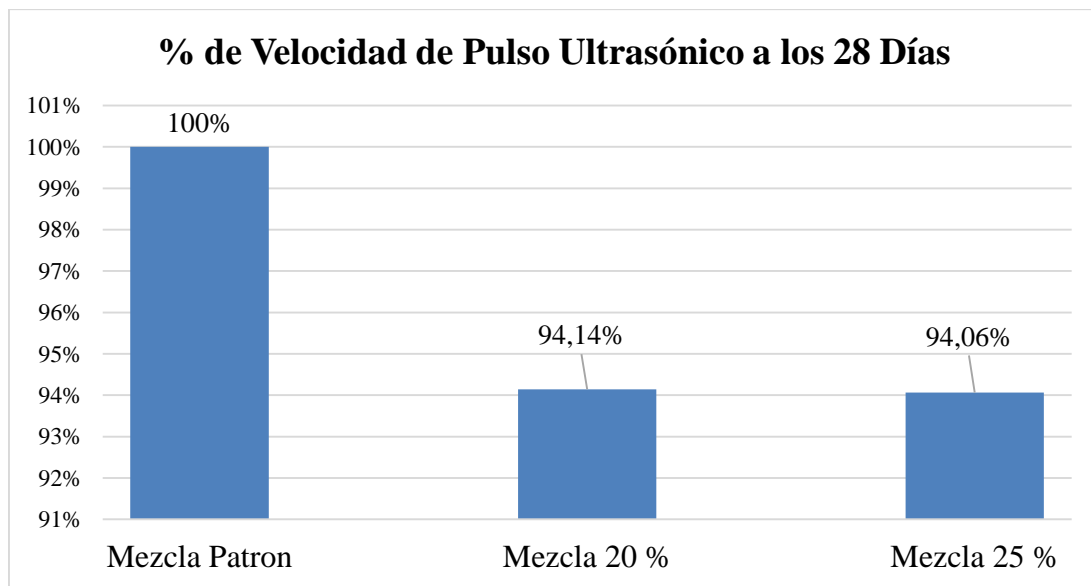


Gráfico 19. Porcentaje de velocidad de pulso ultrasónico promedio de las muestras de concreto a los 28 días en relación a la mezcla patrón.

IV.5.4 Índice Esclerométrico.

Tabla 36. Índice esclerométrico promedio para los 28 días.

ENSAYO	MEZCLA PATRON	MEZCLA 20 %	MEZCLA 25 %
PROMEDIO:	28	25,6	23,8

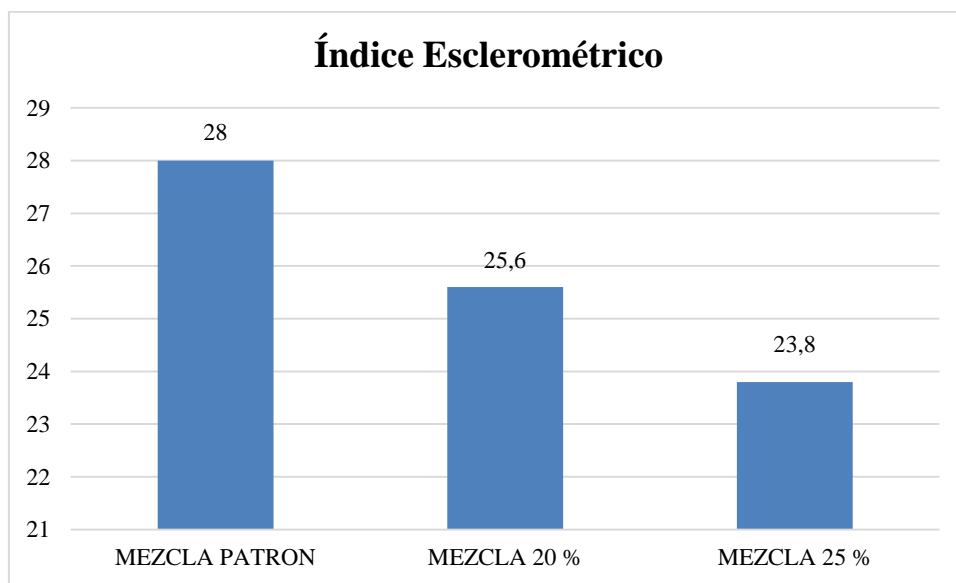


Gráfico 20. Índice esclerométrico promedio para los 28 días.

IV.5.5 Módulo de Elasticidad.

Tabla 37. Esfuerzos (kg/cm²) para el módulo de elasticidad de las mezclas.

MÓDULO DE ELASTICIDAD					
Mezcla Patrón		Mezcla 20 %		Mezcla 25 %	
Esfuerzo (kg/cm²)	ε₁	Esfuerzo (kg/cm²)	ε₂	Esfuerzo (kg/cm²)	ε₃
5,60	0,00001	5,63	0,00000	5,59	0,00002
11,19	0,00002	11,26	0,00001	11,18	0,00005
16,79	0,00004	16,90	0,00003	16,76	0,00008
22,38	0,00005	22,53	0,00005	22,35	0,00010
27,98	0,00007	28,16	0,00006	27,94	0,00014
33,57	0,00009	33,79	0,00008	33,53	0,00017
39,17	0,00011	39,43	0,00011	39,12	0,00020
44,77	0,00013	45,06	0,00013	44,70	0,00023
50,36	0,00015	50,69	0,00015	50,29	0,00026
55,96	0,00016	56,32	0,00017	55,88	0,00028
61,55	0,00018	61,96	0,00020	61,47	0,00031
67,15	0,00020	67,59	0,00023	67,06	0,00034
72,75	0,00022	73,22	0,00026	72,64	0,00038
78,34	0,00023	78,85	0,00028	78,23	0,00039
83,94	0,00026	84,48	0,00030	83,82	0,00040
89,53	0,00028	90,12	0,00031	89,41	0,00042
95,13	0,00029	95,75	0,00033	95,00	0,00043
100,72	0,00032	101,38	0,00035	100,58	0,00045
106,32	0,00034	107,01	0,00037	106,17	0,00046
111,92	0,00035	112,65	0,00038		
117,51	0,00036				
123,11	0,00039				
128,70	0,00041				

Tabla 38. Carga máxima promedio aplicada en los ensayos de módulo de elasticidad a cilindros ensayados a los 28 días.

% de carga requerida	Carga requerida a los 28 días(Ton)		
	Mezcla Patrón	Mezcla 20 %	Mezcla 25 %
40%	105,15	89,96	84,66
50%	131,43	112,45	105,82

Tabla 39. Módulo de elasticidad secante. Norma COVENIN 1468-79 “Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”.

	Mezcla Patrón	Mezcla 20 %	Mezcla 25 %
E_1 (kg/cm ²)=	289957,1352	256672,8387	208850,8051

$$E_1 = \frac{S_C - S_D}{\epsilon_C - 5 * 10^{-5}}$$

- C= Carga promedio de rotura (40 % de la resistencia a la compresión)
- Sc= Esfuerzo correspondiente a la carga C (kgf/cm²)
- Sd= Esfuerzo correspondiente a un deformación unitaria longitudinal de 0.00005 (kgf/cm²)
- ϵ_C = Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo Sc
- E_1 = Módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas (kgf/cm²)

Tabla 40. Módulo de elasticidad. Norma COVENIN 1753-2003 “Método, Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”

	Mezcla Patrón	Mezcla 20 %	Mezcla 25 %
E_c (kg/cm ²)=	238551,3836	233826,7389	229228,6327

$$E_c = 0,137 * w^{1.5} \sqrt{F_c}$$

E_c = Módulo de elasticidad (kgf/cm²)

W = peso unitario (kg/m³)

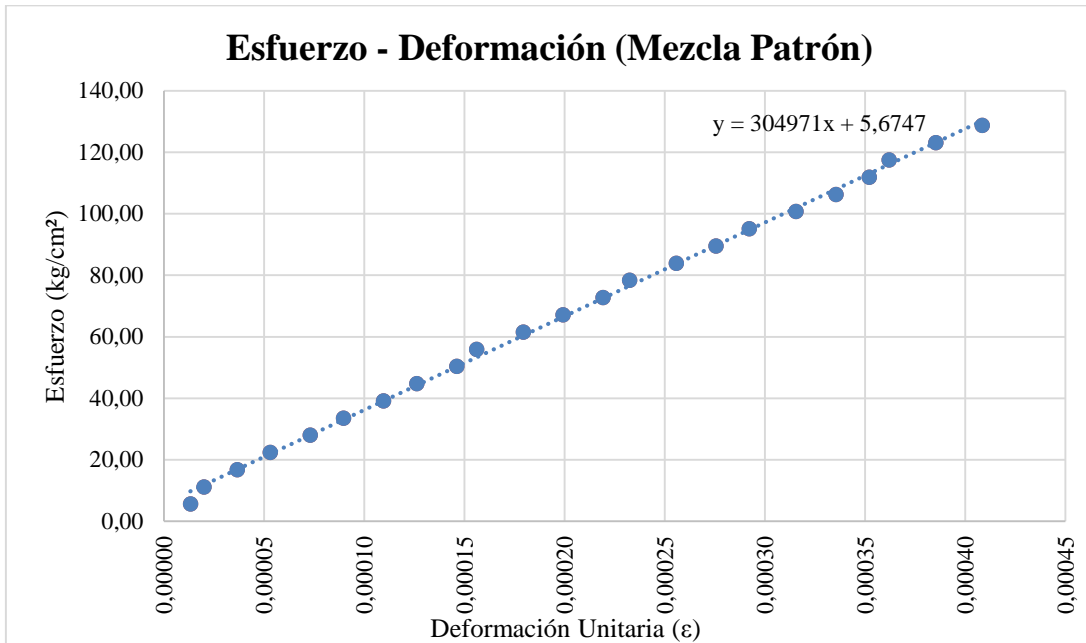


Gráfico 21. Módulo de elasticidad de la mezcla patrón a los 28 días.

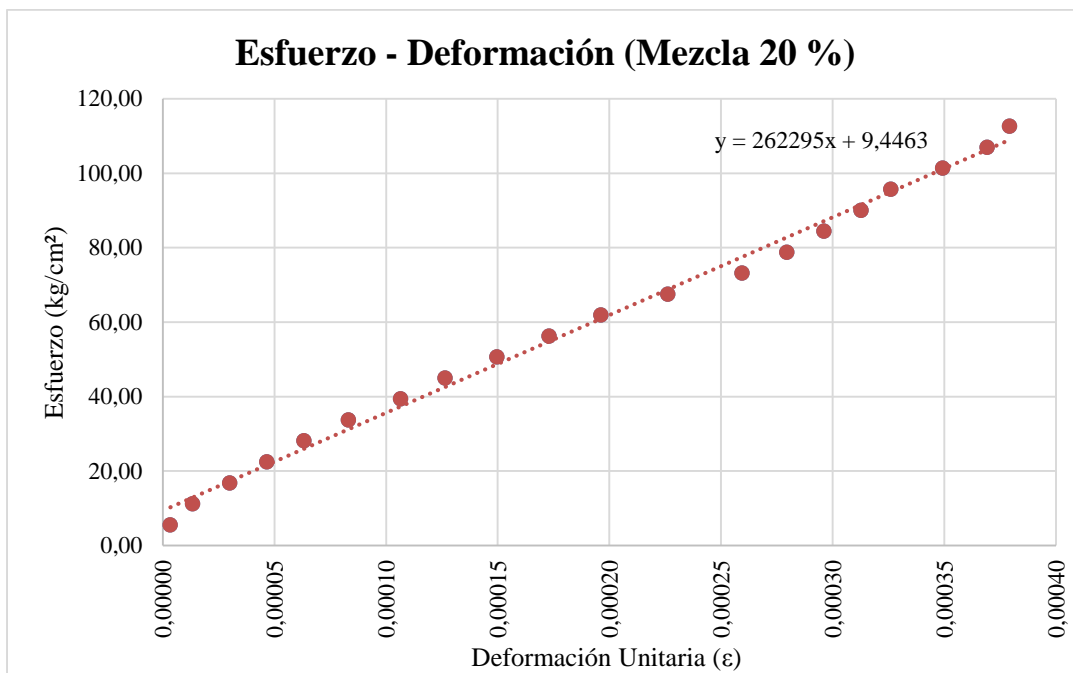


Gráfico 22. Módulo de elasticidad, mezcla con sustitución del 20% de ripio de asfalto a los 28 días

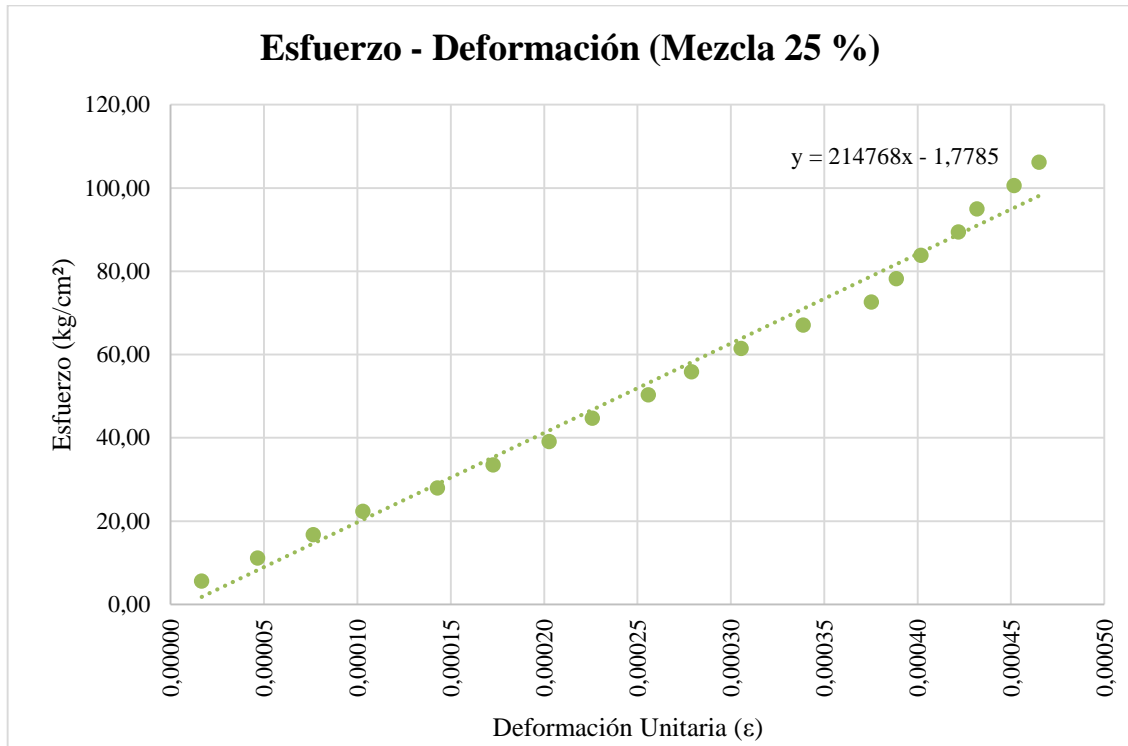


Gráfico 23. Módulo de elasticidad, mezcla con sustitución del 25% de ripio de asfalto a los 28 días.

IV.5.6 Ensayo a la tracción indirecta

Tabla 41. Ensayo a la tracción indirecta para las muestras a los 28 días.

	Cargas (kg)	Longitud(cm)	Diámetro (cm)	σ_{br} (kg/cm²)
Mezcla Patrón	18.000	30,11	15,08	25,23
Mezcla 20 %	17.600	30,06	15,04	24,79
Mezcla 25 %	17.500	30,11	15,09	24,51

$$\sigma_{br} = \frac{2 P}{\pi L d}$$

- σ_{br} = Esfuerzo de tracción (kg/cm²)
p= Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (kg)
L= Longitud (cm)
d= Diámetro (cm)

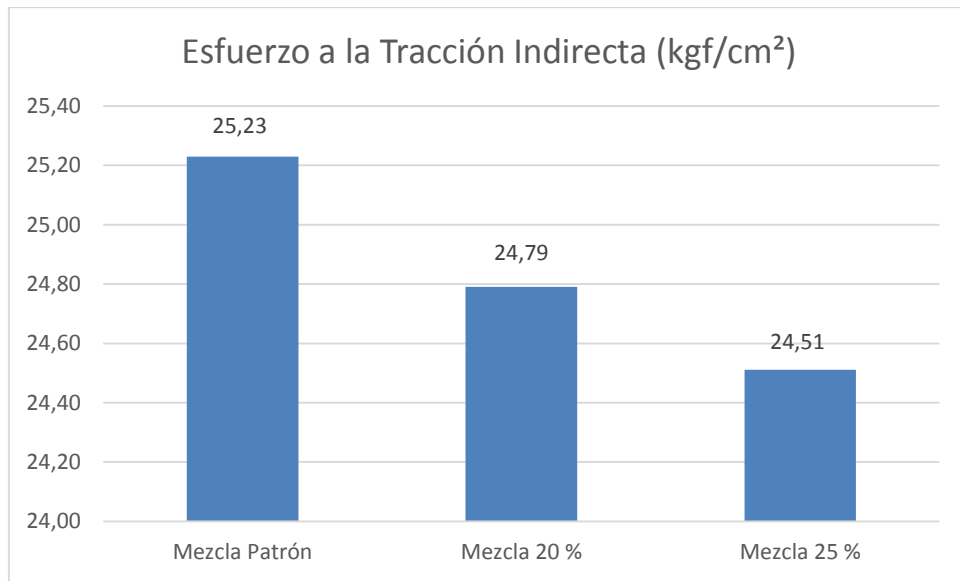


Gráfico 24. Comparación de muestras según el esfuerzo a la tracción indirecta obtenido.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

V.1. Caracterización de los agregados.

V.1.1 Granulometría del Ripio de asfalto.

El Ripio por ser un material de desecho, no cuenta con estudios previos ante este trabajo para ser sustituto del agregado fino en los diseños de mezclas; es necesario generar parámetros que permitan ingresar este material con alguna variable “conocida” al nuevo diseño de mezcla que presenta este TEG.

La granulometría del ripio de asfalto se homologó con la granulometría de la arena, teniendo el mismo rango para los límites de las curvas granulométricas. En el gráfico 1. Curva granulométrica del ripio, se observa que este material cumple perfectamente con el rango establecido por la Norma COVENIN 277-2000, por lo tanto bajo este parámetro, se aceptó el ripio como material sustituto del 20 al 25 % en el agregado fino.

En el antecedente II.1.3. **Azpurua Andrés y Herrera Riberth, Trabajo Especial de Grado, caracterización de mezclas de concreto sustituyendo parcialmente los agregados por el material escarificado de los pavimentos, 2015** se observa que la granulometría del material escarificado es más grueso que la arena a diferencia del presente TEG el cual se haya entre los límites granulométricos de la arena; el ripio de asfalto presentó un tamaño máximo nominal de 3/8” al igual que el presente TEG.

Cabe destacar que el ripio de asfalto (material escarificado) utilizado en el presente TEG y en el de Azpurua y Herrera, son procedentes de la misma carpeta asfáltica.

Tabla 42. Granulometría de material escarificado, TEG Azpurua y Herrera, Ávila y Gutiérrez

Características del material escarificado.	TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Granulometría del ripio de asfalto	Se encuentra fuera de los límites granulométricos de la arena	Se encuentra dentro de los límites granulométricos de la arena
Tamaño máximo nominal	3/8"	3/8"

V.1.2 Granulometría de la arena.

El gráfico 2. Curva granulométrica de la arena, muestra los porcentajes (%) de los tamices pasantes y se observa que los valores están dentro de los límites recomendados por la Norma COVENIN 277:2000, de esta manera se indica que la plasticidad del concreto generado por la arena es aceptable.

En el antecedente II.1.3. **Azpurua Andrés y Herrera Riberth** se observó que los resultados obtenidos en la granulometría del agregado fino se encontraron dentro del rango de aceptación establecido en la Norma Venezolana FONDONORMA 277:2007.

V.1.3 Granulometría de la piedra.

Basados en los límites granulométricos dados por la Norma COVENIN 277:2000, se tomaron los límites superior e inferior N°1 (indicados en la tabla 4. Límites granulométricos para el agregado grueso), tomando como tamaño máximo 1" representado por el agregado grueso presente en el diseño de mezcla.

En el gráfico 3. Curva granulométrica del agregado grueso, se observa que la composición

granulométrica dada por los porcentajes (%) pasantes, cumple con lo estipulado en la norma en relación a la zona granulométrica, esto indica que el material seleccionado es aceptable y que los espacios vacíos que se generan en conjunto con el agregado fino, son mínimos.

En el antecedente II.1.3. **Azpuru y Herrera** la granulometría del agregado grueso muestra que el cedazo de 1/4” es el único que no cumple con el rango de aceptación establecido en la NVF 277:2007, sin embargo esa diferencia en el tamiz de 1/4” por ser tan pequeña no se consideró como motivo para rechazar el agregado.

Tabla 43. Normas aplicadas a los límites granulométricos

	TEG. Azpuru y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Límites granulométricos	FONDONORMA 277:2007	COVENIN 277-2000
Tamiz 1/4”	No cumple	Si cumple

V.1.4 Tamaño máximo.

A través de la tabla 3. Granulometría de la piedra, se determinó que el tamaño máximo nominal de la piedra picada fue de 1”, siendo este el cedazo de menor tamaño que dejo pasar más del 95 % del agregado, cumpliendo conceptualmente con el criterio para establecer el tamaño máximo del agregado grueso. El tamaño máximo de 1” genera concretos de bajo costo, por la cantidad de cemento que necesita la mezcla, aunado a esto, la cantidad de finos en la mezcla puede aumentar el precio según su porcentaje.

V.1.5 Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200).

En la tabla 5. Porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200) se determinó el porcentaje más fino que el cedazo COVENIN 74 micras (#200) del agregado fino, el cual

fue de 4.82 %, siendo este inferior a 5%, valor máximo establecido en la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”, al igual que en el antecedente de **Azpurua y Herrera** con un 4,80% de material pasante en el tamiz # 200.

Tabla 44. Criterio de aceptación para material pasante del cedazo COVENIN 74 micras

	% de Material pasante del tamiz # 200	Valor Máximo según Norma COVENIN 277-2000	Verificación
TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	4,80 %	5 %	Si cumple
TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)	4,82 %	5 %	Si cumple

V.1.6 Peso unitario.

En las tablas 8 y 9, se determinaron los pesos unitarios del ripio y de la arena para poder sustituir volumétricamente el material escarificado de un 20 % y 25 % en el agregado fino.

V.1.7 Contenido de humedad.

El contenido de humedad de los agregados es determinante al momento de realizar el diseño de mezcla, éste puede proporcionar o sustraer agua de la mezcla, por esto es importante conocer los % de humedad para definir el punto de equilibrio. En las tablas 11 y 12 se determinaron los contenidos de humedad de la arena y la piedra según la Norma COVENIN 1375-79 “Método De Ensayo Para Determinar Por Secado, El Contenido De Humedad Total y Superficial En El Agregado”, siendo estos valores 9.94% y 0.08%

respectivamente.

La arena está proporcionando una cantidad significativa de agua, mientras que la piedra no genera cambios perceptibles en el agua de la mezcla. En el TEG **Azpuruia y Herrera**, los límites obtenidos fueron 6.0 % para el agregado fino y 0.1 % para el agregado grueso. Siendo menor la humedad que la arena aporta a la mezcla en comparación al presente TEG

V.1.8 Porcentaje de absorción.

Este valor trabaja conjuntamente con el contenido de humedad, aumentando o disminuyendo la cantidad de agua que se obtuvo en el diseño de mezcla. Los porcentajes obtenidos en las tablas 6 y 7 para el agregado fino y el agregado grueso, fueron de 2.52% y 0.85% respectivamente.

La arena por tener un porcentaje (%) mayor a uno ($> 1\%$), proporciona agua al diseño de mezcla, la piedra en caso contrario por ser un porcentaje menor que uno (< 1), absorbe agua.

En el TEG **Azpuruia y Herrera**, se obtuvieron unos valores de absorción de 1.06 % para la piedra picada y 2.46% para la arena lavada, indicando que estos dos materiales aportan agua al diseño de mezcla.

Por la condición termoplástica del ripio de asfalto, no fue posible estudiar el porcentaje de absorción, esta característica se encuentra implícita en la formulación del diseño de mezcla y se considera igual al de la arena.

Tabla 45. Valores, peso unitario, porcentaje de absorción y contenido de humedad

	TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Peso Unitario Suelto (kg/l) Material Escarificado	1.28	1.33
Peso Unitario Suelto (kg/l) Arena	1.60	1.30
% de absorción Piedra	1.06	0.85
% de absorción Arena	2.46	2.25
Contenido de Humedad (%) Piedra	0.10	0.08
Contenido de Humedad (%) Arena	6.00	9.94

V.1.9 Desgaste Los Ángeles.

La Norma COVENIN 277-2000 permite un límite máximo de desgaste del 40%, sin embargo, de acuerdo con las condiciones del concreto deseado se pueden requerir límites más exigentes como en el caso de pavimentos, túneles de desvíos de represa, tuberías a presión, aliviaderos y otros. Los agregados de alta resistencia al desgaste suelen tener pérdidas de menos del 20% (Porrero y otros, 2012).

En la tabla 5.1. Desgaste de Los Ángeles, se observó que el porcentaje de desgaste para la piedra picada fue del 24.80 %, esto indica que la resistencia a la abrasión de la muestra ensayada es adecuada para su utilización en concreto estructural.

En el TEG **Azpurua y Herrera** se obtuvo un desgaste de 27.00 % para la piedra picada entrando en el criterio de aceptación indicado en la Norma COVENIN 277-2000.

Tabla 46. Porcentajes de Desgaste de Los Ángeles

	Desgaste de Los Ángeles	Criterio de aceptación < 40 %
TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	27.00 %	Cumple
TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % - 25 %)	24.80 %	Cumple

V.2. Caracterización del concreto fresco.

V.2.1 Asentamiento.

El asentamiento establecido para el diseño de mezcla fue de 10 cm, en el gráfico 13. Comparación de los asentamientos obtenidos, se observó que el valor de asentamiento para la mezcla patrón disminuyó en 2 cm, la mezcla con sustitución del 20 % se mantuvo cercano al valor de diseño con 9,5 cm y finalmente en la mezcla con sustitución del 25 % se obtuvo el valor de diseño esperado. Cabe destacar, que estos asentamientos fueron tomados los primeros 3 minutos, sin embargo, durante el proceso de vaciado de cada mezcla con sustitución de ripio de asfalto se observó una ganancia de asentamiento y trabajabilidad, esto se puede deber a la impermeabilidad del asfalto.

En el TEG **Azpurua y Herrera** se obtuvo un asentamiento mayor en los tres casos de sustitución del material escarificado que en el presente TEG.

Tabla 47. Asentamientos del cono de Abrams

	Mezcla Patrón (cm)	Sustitución 10 % y 20 % (cm)	Sustitución 15 % y 25 % (cm)
TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	9.2	9.8	10.3
TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % - 25 %)	8.0	9.5	10.0

V.3. Concreto endurecido.

V.3.1 Peso unitario.

Los valores del peso unitario del concreto dependen del tipo y proporción del agregado, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. Los valores obtenidos en el gráfico 14. Comparación del peso unitario para las diferentes mezclas en sus tres edades (7, 14 y 28 días) fueron disminuyendo a medida que se aumentó el porcentaje de sustitución del ripio en el agregado fino, presentando mayor peso unitario la mezcla patrón y menor peso unitario la mezcla con sustitución del 25 %.

En el gráfico 14 se apreció que el peso unitario a los 14 días tuvo una disminución para las mezclas: patrón y 20%, en relación al peso unitario determinado a los 7 días, sin embargo en la edad de 28 días, se obtuvo el valor esperado. La mezcla al 25% tuvo un desarrollo del peso unitario de forma creciente.

En el antecedente **Azpurua y Herrera** los valores del peso unitario del concreto endurecido de cada mezcla tuvieron una disminución con el avance de la edad del ensayo, a

medida que se aumenta la cantidad de material escarificado se disminuye el peso unitario del concreto. Se observa una disminución del concreto endurecido a los 28 días con respecto a la mezcla patrón, para la mezcla con sustitución de 10% el peso unitario disminuyó 1.19 % y para el caso de sustitución del 15% un 2.31 %

Tabla 48. Peso Unitario a los 28 días.

Peso Unitario del Concreto Endurecido a los 28 días	TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Mezcla Patrón	2385 kg/m ³	2297.53 kg/m ³
Sustitución 10 % y 20 %	2357 kg/m ³	2267.09 kg/m ³
Sustitución 15 % y 25 %	2330 kg/m ³	2237.27 kg/m ³

Se observa que el peso unitario de ambos trabajos disminuye conforme aumenta el material escarificado (ripió de asfalto). Esta disminución se debe a la diferencia de los pesos unitarios entre la arena y el material escarificado. Sin embargo estas mezclas se encuentran dentro de los pesos unitarios usuales del concreto que varía entre 2.200 y 2.400 kgf/m³.

V.3.2 Ensayo a compresión.

V.3.2.1. Mezcla Patrón:

La resistencia obtenida en los ensayos a compresión de la mezcla patrón a los 28 días, fue de 263 kg/cm², obtenida del gráfico 15, entrando en el criterio de aceptación dictada por la FONDONORMA 1753-2003, el cual nombra que “Ningún ensayo individual (promedio de al menos dos cilindros) estará por debajo de F_c en más de: 35 kgf/cm² cuando $F_c \leq 350$ kgf/cm²”

La resistencia promedio obtenida a los 7 días de vaciada las probetas fue de 181 kgf/cm²,

lo que representa aproximadamente el 70% de la resistencia esperada. A los 14 días del vaciado se obtuvo una resistencia de 230 kgf/cm², ésta constituye el 90 % de la resistencia final, obteniendo así la gráfica 17. “Desarrollo de la resistencia del concreto”.

V.3.2.2. Mezcla con sustitución del 20% y 25%:

Las resistencias a los 28 días de mezclado, obtenidas en los ensayos a compresión fueron de 225 kgf/cm² y 212 kgf/cm² para los porcentajes de 20% y 25% respectivamente, la resistencia obtenida en la mezcla con sustitución parcial del 25% de ripio en el agregado fino no cumple con el criterio de aceptación dado por la FONDONORMA 1753-2003 en función de su resistencia a la compresión.

Para: $F_c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$

$F_c: 250 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow$ Se establece que ningún valor puede estar por debajo de
 $F_c - 35 \text{ kgf/cm}^2$.

Donde:

$$F_c = 250 - 35 = 215 \text{ kgf/cm}^2$$

Por ser este valor menor que 215 kgf/cm²

$$F_{c_{25\%}} = 212 \text{ kgf/cm}^2 \leq 215 \text{ kgf/cm}^2 \rightarrow \text{No cumple.}$$

Aunque el valor no cumple, es muy cercano al límite de resistencia establecido y se recomienda realizar mayor número de pruebas para determinar la resistencia definitiva, ya que la única variable alterada fue la sustitución de ripio de asfalto en el agregado fino, se le atribuye a este agregado la disminución en la resistencia.

Las resistencias a los 7 días de las mezclas fueron de 156 kgf/cm² y 148 kgf/cm² para los porcentajes de 20% y 25% respectivamente, lo que representa el 70% de la resistencia obtenida.

V.3.2.3. Comparación de mezclas.

En el gráfico 16 se observó que las resistencias a los 28 días de las mezclas sustituidas con ripio disminuyeron su resistencia en relación a la mezcla patrón mientras aumentaba su porcentaje. Con valores de resistencias de: 263 kgf/cm² para la mezcla patrón, 225 kgf/cm² para la mezcla al 20% y 212 kgf/cm² para la mezcla del 25%, se detalló que los porcentajes de disminución de resistencia fueron de 14.44 % y 19.40 % para las mezclas de 20% y 25% respectivamente, en relación a la mezcla patrón.

En el gráfico 17 se evidencia que el comportamiento en el desarrollo de la resistencia de las mezclas con sustitución del ripio, es similar al comportamiento de la mezcla patrón. Ésta tiene una velocidad acelerada en la que adquiere la resistencia en la primera semana y después disminuye conforme pasan los días.

Tabla 49. Resistencias a la Compresión del 10 % al 25 % a los 28 días

Resistencias a la Compresión (28 días)	TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Mezcla Patrón	260 kgf/cm ²	263 kgf/cm ²
Sustitución del 10 y 20 %	251 kgf/cm ²	225 kgf/cm ²
Sustitución del 15 y 25 %	248 kgf/cm ²	212 kgf/cm ²
% disminución del 10 % y 20 %	3.46 %	14.44 %
% disminución del 15 % y 25%	4.62 %	19.40 %

En el antecedente **Azpurua y Herrera** se observa que la resistencia a compresión de las mezclas con sustitución disminuye a medida que se aumenta el material escarificado. Haciendo una comparación de los resultados obtenidos de ambos TEG entre la mezcla patrón

y cada una de las mezclas con sustitución, podemos observar que las mezclas con mayor pérdida de resistencia fueron las de 20 % y 25 %. Cabe destacar, que la mezcla del 25 % de sustitución del ripio de asfalto no cumple con los criterios de aceptación establecidos por el material bibliográfico FONDONORMA 1753-2003

V.3.3 Velocidad de pulso ultrasónico.

En el gráfico 18, se observó que la mezcla patrón presentó mayor velocidad de pulso ultrasónico, lo cual significa que esta fue más uniforme, densa y homogénea con respecto a las mezclas con sustitución parcial del ripio.

A medida que se incrementó el porcentaje de sustitución del agregado, disminuyó la velocidad de la onda, en 5.86% para la mezcla con sustitución del 20% de ripio y 5.94% para la mezcla con sustitución de 25% de ripio, esto se debe a que el nuevo material presenta mayor cantidad de poros.

Tabla 50. Velocidad del Pulso Ultrasónico a los 28 días

Velocidad del Pulso ultrasónico (m/s)	TEG. Azpurua y Herrera (10 % - 15 %)	TEG. Ávila y Gutiérrez (20 % – 25 %)
Mezcla Patrón	4268 (m/s)	4136 (m/s)
Mezcla del 10 % y 20 %	4258 (m/s)	3894 (m/s)
Mezcla del 15 % y 25 %	4206 (m/s)	3890 (m/s)

La velocidad del pulso ultrasónico va disminuyendo conforme aumenta el porcentaje de sustitución de material escarificado, notando que en el rango del 20 % al 25 % disminuye 6 % en comparación a la mezcla patrón, a diferencia del Trabajo Especial de Grado **Azpurua y Herrera** en el que disminuye la velocidad de pulso ultrasónico en 1.5 % para la sustitución del 15 % de ripio de asfalto, en comparación a la mezcla patrón.

V.3.4 Índice Esclerométrico.

El gráfico 20 indica que la muestra patrón presentó mayor rebote, es decir, presenta mayor dureza superficial en comparación con las mezclas del 20% y 25% de sustitución del ripio de asfalto.

Sin embargo, la diferencia de rebote entre la mezcla con sustitución del 20% y la mezcla con sustitución del 25% de ripio de asfalto fue de 6%.

En el antecedente **Azpurua y Herrera** se observa una disminución del índice esclerométrico a los 28 días con respecto a la mezcla patrón, para la mezcla con sustitución de 10% el rebote disminuyó 4,35 % y para el caso de sustitución del 15% disminuyó un 8,70 %.

V.3.5 Módulo de elasticidad.

En los gráficos 21, 22 y 23, se aprecia que mientras se aumenta el porcentaje de ripio la deformación del concreto aumenta con menos carga aplicada, por ende el módulo de elasticidad disminuye. Esto se aprecia en la tabla 39, la cual indica que el módulo de elasticidad secante, disminuye conforme aumenta el porcentaje de ripio sustituido.

Los módulos de elasticidad secante obtenidos experimentalmente (tabla 39), son mayores que los obtenidos según la Norma COVENIN 1753 (tabla 40), dada por las resistencias y los pesos unitarios.

Los pavimentos rígidos están sometidos a cargas cíclicas en el tiempo originadas por el tránsito vehicular pesado y liviano, dichas cargas someten a deformaciones elásticas a los espesores del pavimento. La propiedad asociada al módulo elástico permite que se generen mayores cargas repetidas sobre el concreto a medida que el módulo elástico sea mayor sin

entrar en fatigas tempranas. Por esta condición el módulo elástico en un pavimento rígido (pavicret o concreto) es importante que sea el de mayor valor posible.

El módulo elástico del concreto está vinculado directamente con su resistencia alcanzada a los 28 días, es decir, a mayor resistencia a la compresión del concreto tendrá mayor módulo elástico y por ende mayor capacidad para resistir la fatiga originada por el tránsito vehicular.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(W_{18}) = & Z_R * s_o + 7.35 * \text{Log}(D + 1) - 0.06 + \left[\frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \right] \\
 & + (4.22 - 0.32p_t) * \text{Log} \left[\frac{[S'_c * C_d * D^{0.75}] - 1.132}{215.63 * J * \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / k)^{0.25}} \right]} \right]
 \end{aligned}$$

(Ecuación 30)

V.3.6 Ensayo de tracción indirecta.

El ensayo de tracción indirecta llamado ensayo Brasileño, es una manera cómoda de obtener el valor aproximado de la resistencia a la tracción del concreto a través de la compresión de la probeta cilíndrica en su dimensión más corta (ver anexo 7).

Los valores obtenidos en la tabla 41 fueron: 25.23 kg/cm² para la mezcla patrón, 24.79 kg/cm² para la mezcla con sustitución del 20% y 24.51 kg/cm² para la mezcla con sustitución

del 25%. Evidenciando que la resistencia a la tracción disminuye 1.74% para la mezcla con sustitución del 20% y 2.85% para la mezcla con sustitución del 25%. Esta disminución a la tracción se genera porque el ripio en la mezcla disminuye la cohesión.

El ensayo de tracción indirecta dio como resultado para la mezcla patrón, un 9.58 % de la resistencia a compresión ($F'_{c28DIAS} = 263 \text{ kgf/cm}^2$), para la mezcla con sustitución del 20 % se obtuvo un 11.02 % de la resistencia a compresión ($F'_{c28DIAS} = 225 \text{ kgf/cm}^2$) y finalmente para la mezcla con sustitución del 25 % de ripio de asfalto se alcanzó 11.55 % de la resistencia a compresión ($F'_{c28DIAS} = 212 \text{ kgf/cm}^2$). Es importante resaltar que las probetas de este ensayo fueron sometidas previamente a tres ensayos consecutivos: rebote esclerométrico, velocidad del pulso ultrasónico y determinación del módulo de elasticidad. En los ensayos previos las probetas tuvieron ciclos de carga en diversas fases, a este motivo se le atribuyen los resultados obtenidos.

V.4. Cálculos métricos.

En los gráficos 9, 10, 11 y 12, se muestran los costos que a la fecha del mes de Mayo del 2015 representan los materiales en la industria de la construcción y la incidencia de los precios de cada elemento sobre la mezcla, determinando así un precio final estimado en relación con la mezcla patrón (obtenido de datos no oficiales).

Para simplificar cálculos en este TEG se despreció el costo del material escarificado, transporte y adecuación del mismo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. Conclusiones.

Cumpliendo con los objetivos planteados en este Trabajo Especial de Grado se llegó a las siguientes conclusiones

Se diseñó la mezcla con los parámetros establecidos en el Manual del Concreto Estructural de Porrero para la sustitución del ripio de asfalto en proporciones del 20% al 25% en el agregado fino, con la finalidad de utilizar el material proveniente de la escarificación del asfalto (desecho) para evitar la explotación desmedida de préstamos y canteras.

En cumplimiento con los objetivos planteados, para la caracterización del concreto fresco con sustitución parcial del ripio de asfalto, se obtuvo un asentamiento promedio de 9,1 cm, se observó una ganancia de asentamiento y trabajabilidad a lo largo de las tres mezclas. Se infiere esta característica a la impermeabilidad del asfalto que contiene el ripio de asfalto.

Dentro de la caracterización del concreto endurecido, el peso unitario para las tres edades fue disminuyendo a medida que aumentó el porcentaje de sustitución del ripio, expresando mayor peso unitario en la mezcla patrón y menor en la mezcla con sustitución del 25% del ripio. Sin embargo, se apreció que el peso unitario a los 14 días para la mezcla patrón disminuyó en gran medida, a pesar de las acciones tomadas para tener una mayor precisión en las dimensiones (altura y diámetro) y compactación de los cilindros, existieron variaciones en los resultados que se pueden atribuir a posibles errores humanos en los distintos procesos de elaboración de muestras y preparación de probetas

En los resultados obtenidos de resistencia a la compresión del concreto, para las diferentes edades de ensayos, se concluye que la mezcla con sustitución parcial del ripio (producto de

la escarificación del asfalto) alcanzó una resistencia disminuida de 14% y 19% en relación a la mezcla patrón, así mismo, se evidenció que esta disminución en la resistencia es atribuida a:

- Alteración del alfa: al ir sustituyendo el ripio por el agregado fino en diversas proporciones la arena de la mezcla absorbe menos agua (ya que el ripio posee la propiedad de ser impermeable), existe la misma cantidad de cemento, generando así el aumento de la relación agua/cemento que es inversamente proporcional a la resistencia del concreto.
- Fallas por partículas desmenuzables: el ripio mantuvo en algunos casos partículas desmenuzables (terrones) que se evidenciaron al concluir el ensayo a compresión de los cilindros, a través de una inspección visual, se infiere como posible falla la falta de homogeneidad del concreto debido a la presencia de estas partículas.
- Falla por adherencia: se evidencia el desprendimiento del agregado grueso con el material cementante.

En la mezcla patrón se evidenciaron fallas por pasta, fractura de los agregados en su mayoría, además, se evidencio homogeneidad en este tipo de mezcla.

En los resultados del pulso ultrasónico se observó que la mezcla patrón presentó mayor velocidad, garantizando una mejor homogeneidad y uniformidad en la pasta. Con respecto a las mezclas con sustitución parcial, se observó que a medida que incrementaban los porcentajes de sustitución, disminuían las velocidades de pulso ultrasónico correspondiendo la presencia de mayor cantidad de poros

Se evidenció mayor índice esclerométrico en la mezcla patrón, es decir, presenta mayor dureza superficial en comparación con las mezclas del 20% y 25% de sustitución del ripio de

asfalto.

Se observó menos deformación para la mezcla patrón en comparación con las mezclas de sustitución del 20% y 25%. Concordando con los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión para los 28 días, ya que a menor deformación, mayor resistencia.

Los valores de tracción demuestran la disminución en 1.74% para la mezcla con sustitución del 20% de ripio y 2.85% para la mezcla con sustitución del 25% de ripio respecto a la mezcla patrón. Esta disminución a la tracción se genera porque el ripio en la mezcla disminuye la cohesión la cual se observó en la falla.

De manera general se evidenció que los concretos elaborados con porcentajes del 20 % y 25 % de sustitución en el agregado fino presentaron una variabilidad desfavorable en sus propiedades mecánicas con respecto a concretos realizados con agregados convencionales.

El costo de la mezcla de concreto estructural elaborado en el presente Trabajo Especial de Grado, en comparación con la mezcla patrón, se va reduciendo a medida en que se le agrega ripio de asfalto porque normalmente el material escarificado es desechado, y a partir de esta línea de investigación se le podrá asignar un uso para convertirse en material aprovechable.

Al elaborar las mezclas con el material escarificado es conveniente diseñarla de manera que el cemento tenga la proporción exacta porque el cemento es el material con mayor incidencia en el costo de la mezcla de concreto. En este TEG se despreció el costo del material escarificado, transporte y adecuación del mismo.

En relación a los antecedentes que contempla este TEG existen similitudes en cuanto a la sustitución del agregado fino (arena) de la mezcla convencional por un material de desecho y a su vez se representa la disminución de resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de sustitución del desecho por el agregado fino, y en el caso del TEG de

Meléndez y Pérez por el agregado fino y grueso.

En el antecedente de Meléndez y Pérez donde evaluaron el comportamiento mecánico del concreto estructural, sustituyendo el agregado grueso y fino por residuos de concreto estructural triturado, realizando 3 diseños de mezclas correspondientes a la sustitución en un 20 %, 30 % y 40 %, obtuvieron resistencias mayores a la mezcla patrón de 250 kgf/cm².

En el antecedente de Arnal y Collazo se evaluó el comportamiento de la mezclas de concreto con escoria de Níquel como sustituto parcial del agregado fino en porcentajes de 55 %, 65 %, 75 % y 85 % para resistencias de diseño de 210 kgf/cm². La resistencia a compresión disminuyó proporcionalmente conforme se aumentaba el porcentaje de escoria de Níquel de 55 % hasta 85 %

En el antecedente de Azpurua y Herrera se evaluó el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto con el mismo material escarificado (ripio de asfalto) del presente TEG. La resistencia a la compresión disminuyó conforme se aumentaba el porcentaje de ripio de asfalto del 10 % al 15 % en comparación a la mezcla patrón diseñada para un $F'c = 250$ kgf/cm².

Los resultados obtenidos en el presente TEG son similares al TEG de Azpurua y Herrera ya que la resistencia a la compresión de los cilindros de ensayo disminuyó conforme se aumentaba el porcentaje de ripio de asfalto del 20 % al 25 % en comparación a la mezcla patrón diseñada para un $F'c = 250$ kgf/cm².

Tabla 51. Comparación entre antecedentes de TEG.

	Material Sustituido	% de Sustitución	F' c _{28 días} : Mezcla Patrón (diseño)	Menor Resistencia a los 28 días	Mayor Resistencia a los 28 días
Ávila y Gutiérrez (fino)	Ripio de Asfalto	20 % 25 %	250 kgf/cm ²	Mezcla 25 % = 212 kgf/cm ²	Mezcla Patrón = 263 kgf/cm ²
Azpurua y Herrera (fino)	Ripio de Asfalto	10 % 15 %	250 kgf/cm ²	Mezcla 15 % = 248 kgf/cm ²	Mezcla Patrón = 260 kgf/cm ²
Arnal y Collazo (fino)	Escoria de Níquel	55 % 65 % 75 % 85 %	210 kgf/cm ²	Mezcla 85 % = 191 kgf/cm ²	Mezcla 55 % = 238 kgf/cm ²
Meléndez y Pérez (fino y grueso)	Residuo de Concreto Triturado	20 % 30 % 40 %	250 kgf/cm ²	Mezcla 40 % = 296 kgf/cm ²	Mezcla 30 % = 306 kgf/cm ²

VI.2. Recomendaciones.

Antes de realizar las mezclas revisar que en los agregados no existan materiales perjudiciales tales como: plástico, madera, entre otras.

Se recomienda el uso de aditivos superplastificantes a medida que se incrementen los porcentajes de sustitución del ripio, para así obtener una mayor resistencia, trabajabilidad y durabilidad de las muestras.

Realizar ensayos con mayores porcentajes de sustitución de ripio, para determinar la curva de resistencia en relación a los porcentajes de sustitución y el uso que se le pueda dar a este material en función de su capacidad de resistencia en la construcción.

Efectuar nuevos diseños de mezclas para analizar el ripio del concreto en pavimentos rígidos y evaluar su factibilidad.

Analizar las propiedades no mecánicas de este tipo de mezcla: resistencia al fuego, resistencia a la abrasión, durabilidad, ensayo de permeabilidad, entre otras; para determinar su uso en otros campos no estructurales de la construcción.

Se recomienda a las empresas escarificadoras de asfalto donar el material a líneas de investigación relacionados a este tópico, a los trabajos de pavimento rígido y afines.

REFERENCIAS

1. JOAQUÍN PORRERO S. Y OTROS (2012). “*Manual del Concreto Estructural*”. Sidetur. Caracas, Venezuela. Consultado: noviembre 2014.
2. ING. GUSTAVO CORREDOR M. (2011). “*Apuntes de Pavimentos. Mezclas Asfálticas, Materiales y Diseños*” Volumen 2. Caracas, Venezuela. [Consultado: 2015, abril 07], archivo pdf.
3. ING. AUGUSTO JUGO B. (2005). “*Mantenimiento Y Rehabilitación De Pavimentos Flexibles*”. [Consulta: 2015, abril 24] disponible: archivo pdf.
4. COVENIN 255:1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica.
5. COVENIN 266:1977. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos de menores de 38,1mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles.
6. COVENIN 268:1998. Agregado fino. Determinación de la Densidad y la Absorción.
7. COVENIN 269:1998. Agregado grueso. Determinación de la Densidad y la Absorción.
8. COVENIN 277:2000. Concreto. Agregados. Requisitos.
9. COVENIN 263:1978. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.
10. COVENIN 338:2002. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.
11. COVENIN 339:2003. Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams.
12. COVENIN 354:2001. Método para mezclado en el laboratorio.
13. COVENIN 1375:1979. Método de ensayo para determinar por secado, el contenido de

humedad total y superficial en el agregado.

14. COVENIN 1468:1979. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto.
15. COVENIN 1609:1980. Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficie de concreto endurecida.
16. COVENIN 1681:1980. Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.
17. COVENIN 1753:2003. Proyecto y construcción de obra en concreto estructural.
18. COVENIN 341-79. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas.
19. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. “Ecuación de Diseño de Pavimentos de Hormigón 1986-93”. [Consulta: 2015, septiembre 19] disponible: archivo pdf.

ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión



1. Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



2. Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en límite de tolerancia especificada o excediendo esta.



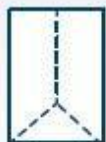
3. Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo: también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.



4. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



5. Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



6. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



7. Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas, o por ligeras desviaciones en el centro del espécimen para la aplicación de carga.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2008.

ANEXO 2. Superficie de carga convexa.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3. Caras de aplicación de carga en límite de tolerancia.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4. Falla por concavidad en una de las placas de carga



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 5. Falla por fractura del agregado.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6. Falla por adherencia.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7. Falla a la tracción indirecta.



Fuente: Elaboración propia.