

Universidad de Oriente
Núcleo de Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**ESTABLECER POSIBLES APLICACIONES DEL COQUE
PETROLERO COMO AGREGADO SUSTENTABLE EN
MEZCLAS DE CONCRETO**

Realizado por:

Laurrys J. Pino P.

Johnmaris J. Rodríguez N

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente
como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, 25 de abril de 2019

**Universidad de Oriente
Núcleo de Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil**



**ESTABLECER POSIBLES APLICACIONES DEL COQUE
PETROLERO COMO AGREGADO SUSTENTABLE EN
MEZCLAS DE CONCRETO**

Realizado por:

Laurrys J. Pino P.

Johnmaris J. Rodríguez N

**Profesor Jhonatan Martínez
Tutor Académico**

Cantaura, 25 de abril de 2019

Universidad de Oriente
Núcleo de Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**ESTABLECER POSIBLES APLICACIONES DEL COQUE
PETROLERO COMO AGREGADO SUSTENTABLE EN
MEZCLAS DE CONCRETO**

JURADO CALIFICADOR

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de

APROBADO

Prof. Jhonatan Martínez
Asesor Académico

Prof. Elys Rondón
Jurado Principal

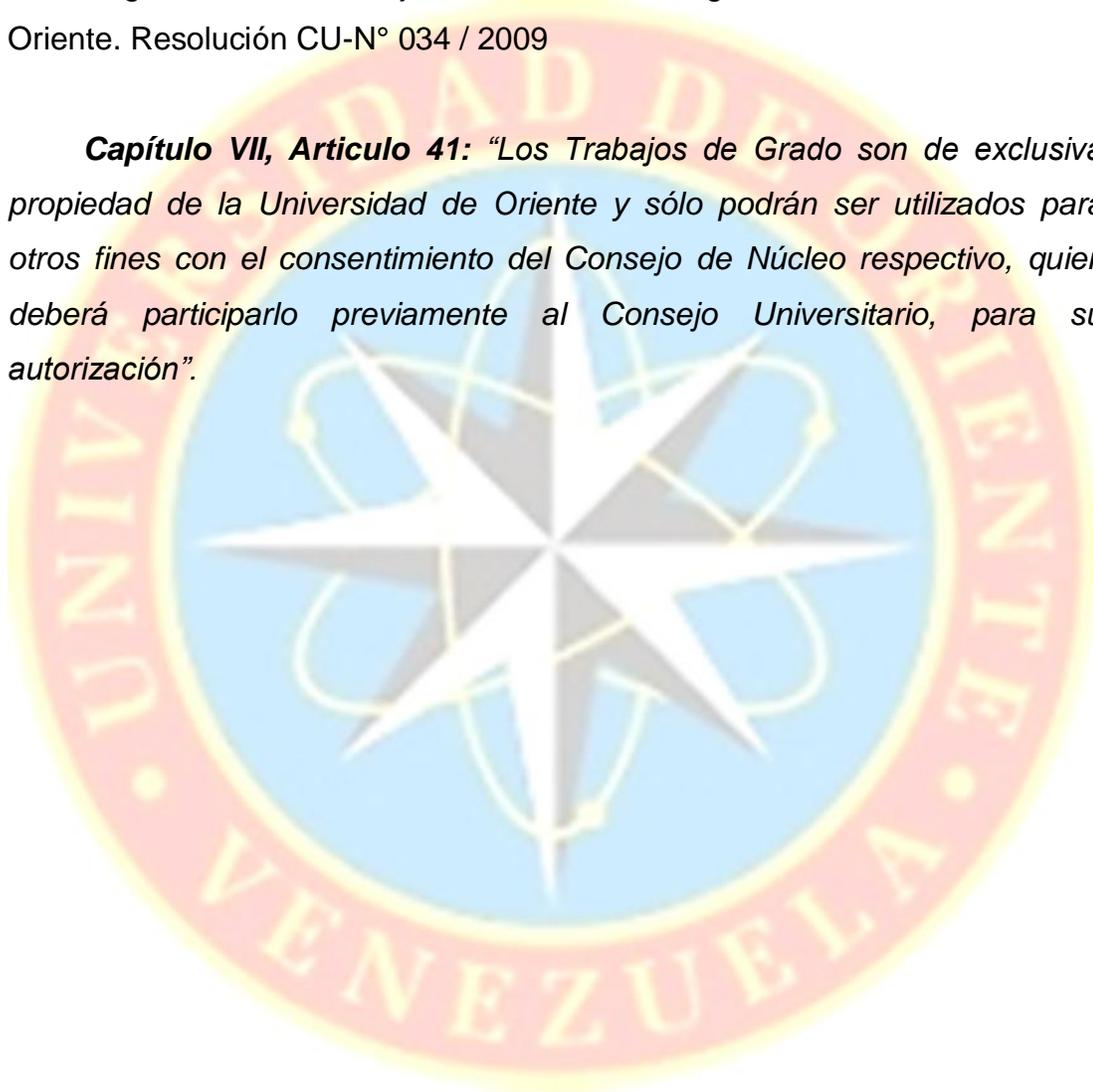
Prof. Daniel Cabrera
Jurado Principal

Cantaura, 25 de abril 2019

RESOLUCIÓN

Reglamento de Trabajos de Grado de Pregrado de la Universidad de Oriente. Resolución CU-N° 034 / 2009

Capítulo VII, Artículo 41: *“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.*



DEDICATORIA

Ante todo, dedico este trabajo de grado a mi gran padre celestial mi **Dios**, por ser el conductor de mi vida, por no dejarme caer ante las adversidades, por darme las fuerzas y las bendiciones para seguir luchando en cada minuto de mi vida, por el conocimiento sabiduría y la paciencia concedida para llegar a esta meta cumplida. De igual manera a mis ancestros por ser mi luz ante la oscuridad y nunca abandonarme.

Esta gran meta se la dedico muy en especial a dos pilares fundamentales en mi vida, a mis padres: **Nellys de Pino y Ernesto Pino**, mis grandes ejemplos, los que siempre han estado ahí para apoyarme, para levantarme en cada caída, los que me impulsan a ser mejor persona con sus principios y valores inculcados, este gran logro es por ustedes y para ustedes de corazón son mi razón de ser, los amo.

Así mismo, todo el esfuerzo e inspiración que fue puesto para culminar este propósito tan importante para mí, se lo dedico a mis hermanos, **Ernesto José, Ernelys, Vanessa, Bárbara, Valentina**, porque siempre han estado ahí para apoyarme en cada momento y nos hemos mantenido unidos a pesar de las adversidades, a mis sobrinos, **Daniel, Dagnelis, Gabriel, Diego, Nikolle y Sebastián** porque ustedes son esa razón para seguir aprendiendo cada día más y de esta manera transmitirles a ustedes todo lo que se, ayudarlos a formarse, y que vean en mi un buen ejemplo a seguir. En fin, a mi gran equipo de futbol (**mi familia**), a quienes amo incondicionalmente les dedico este gran logro, y espero que siempre nos mantengamos unidos, uno para todos y todos para uno.

Estas últimas líneas se las dedico, a esos amigos incondicionales, a esas personas que siempre creyeron en mí, brindándome su apoyo en diversas circunstancias y demostrándome su afecto incondicionalmente.

Laurrys Jackeline Pino Pérez

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo de grado a **Dios** primeramente por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, **Maribel Natera** y **John Rodríguez** porque creyeron en mí y porque me impulsaron a seguir adelante, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

A mi esposo y amigo **Pedro Luis López** por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían.

A mis hermanos **Miguel Rodríguez** y **John José Rodríguez** por ser parte importante de mi vida, que con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que puedo lograr.

Y a todos aquellos que hicieron posible la elaboración y desarrollo de este trabajo de grado, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

Johnmaris Josefina Rodríguez Natera

AGRADECIMIENTO

Dios Padre mío Celestial a ti agradezco este gran triunfo, que con tus bendiciones hice posible y espero que sean muchos más que lograre apoyada de tu mano gracias padre. A ustedes mis **ancestros** porque nunca me abandonaron y siempre creyeron en mí, mil gracias.

De igual manera le agradezco a mis **padres** los cuales siempre se han esforzado por darme lo mejor, gracias por siempre estar a mi lado y por impulsarme a seguir cuando ya decía no puedo más. **A mi familia, hermanos y sobrinos** porque cada uno de ustedes de una u otra forma contribuyó para culminar esta gran meta, no tengo palabras que describan lo agradecida que estoy con **mi gran equipo de futbol**.

De manera muy especial le agradezco a mi tutor académico **Ing. Jhonatan Martínez** por su buena disposición de orientarnos, por compartir su conocimiento no solo en la realización de este proyecto sino también en clases. Quisiera agradecer además a todos los **profesores** que formaron parte de mi educación universitaria, así como también a toda esa **directiva** que tuvieron al pendiente y una buena disposición al prestarnos su ayuda.

Agradezco al personal del **laboratorio TECNISUCA** en especial a su **laboratorista Yumar Andueza** por su paciencia y dedicación en ayudarnos a mi compañera de tesis y a mí en la elaboración de los ensayos, parte fundamental de este trabajo de grado, y no solo en eso sino también por sus conocimientos los cuales nos trasmitió con mucho esmero.

Finalmente le doy gracias a todos esos amigos que me tendieron su mano en todo momento, en especial a **Carlos Álvarez** y a **Junior Figuera** (arepita). Y a todas esas personas que con un simple detalle me colaboraron en la elaboración de este proyecto, que quizás en este momento se me escapa su nombre, muchas gracias.

Laurrys Jackeline Pino Pérez

AGRADECIMIENTO

A **DIOS**, por guiarme al camino correcto para alcanzar los éxitos, por hacer que mantenga la fe, fuerza y mantenerme con buena salud y valor durante todo el curso de mi vida.

Doy gracias a **mis padres** por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

Agradezco a **mis hermanos** por sus palabras que me hacían seguir adelante y nunca decaer, y si lo hacia lo importante era saber cómo levantarme.

De manera especial a mi **tutor** de tesis, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de grado, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

Y por supuesto a mi querida **Universidad** y a todas las **autoridades**, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y por guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Así como también le doy gracias al personal del laboratorio **TECNISUCA** en especial al señor **Yumar Andueza**, por su gran ayuda la cual nos permitió culminar gran parte del desarrollo de esta investigación.

Mis palabras no bastarían para agradecerles a todas esas personas que me brindaron su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

Johnmaris Josefina Rodríguez Natera

Universidad de Oriente
Núcleo de Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil

ESTABLECER POSIBLES APLICACIONES DEL COQUE PETROLERO COMO AGREGADO SUSTENTABLE EN MEZCLAS DE CONCRETO

Autor(es): Pino, Laurrys
Rodríguez, Johnmaris

Asesor Académico: Martínez, Jhonatan

Fecha: 25 de abril 2019

RESUMEN

En la investigación se planteó como objetivo general: Establecer posibles aplicaciones del coque petrolero como agregado sustentable en mezcla de concreto. Se llevó a cabo de acuerdo a una metodología de trabajo de tipo experimental, con un nivel de investigación explicativa y un diseño que aplica estrategias documentales. El coque petrolero, es un subproducto industrial, procedente del proceso del refinado del petróleo, este material se ha ido acumulando en grandes cantidades sin tener un posterior uso, en los patios de Complejo Industrial de Jose (Anzoátegui), y en distintos espacios del mismo existen toneladas de coque conformando unos cerros con dicho material residual, lo cual lo convierte en una problemática de orden ambiental, social, laboral y económica. La mezcla de concreto incorporando este subproducto como agregado sustentable está aportando ideas para disminuir los imponentes vertederos que existen de este material actualmente, el cual está ocasionando daños ambientales. Se realizó estudios preliminares guiados por el Método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grases, bajo la concepción de los requerimientos mínimos señalados en la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN); con la finalidad de estudiar el comportamiento que tiene este material como agregado sustentable en mezclas de concreto, para obtener resultados que a partir de ellos se logre establecer los posibles usos que se le puede dar en la industria de la construcción.

Palabra clave: Coque Petrolero, Aplicaciones, Mezcla Sustentable.

INDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
RESUMEN	ix
INDICE GENERAL.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
INTRODUCCIÓN	xxi
CAPITULO I.....	24
EL PROBLEMA.....	24
1.1. Planteamiento del problema	24
1.2. Objetivos de la investigación	28
1.2.1. Objetivo General.....	28
1.2.2. Objetivos Específicos	28
CAPÍTULO II	29
MARCO TEÓRICO	29
2.1. Antecedentes.....	29
2.2. Bases teóricas	32
2.2.1. Sustentable	32
2.2.2. Mezcla sustentable.....	32
2.2.3 Concreto.....	33

2.2.3.1 Principales características del concreto	35
2.2.4. Control de calidad.....	35
2.2.5. Relación entre La Calidad del Concreto y su Composición	36
2.2.6. Agregados	37
2.2.6.1. Tipos de Agregados.....	37
2.2.6.2. Agregado Fino (Arena)	37
2.2.6.3 Agregado Grueso (piedra picada).....	38
2.2.7. Propiedades principales del agregado	39
2.2.7.1. Granulometría	39
2.2.7.2. Curvas granulométricas	42
2.2.7.3. Tamaño Máximo	42
2.2.7.4. Módulo de finura	43
2.2.7.5. Peso unitario	43
2.2.7.6. Peso Específico	44
2.2.7.7. Humedad	45
2.2.7.8. Absorción.....	45
2.2.8 Cemento	46
2.2.9 Agua	47
2.2.9.1. Agua de Diseño	48
2.2.9.2. Agua Evaporable	48
2.2.9.3. Agua de Hidratación o no Evaporable	48
2.2.9.4. Agua de curado.....	48
2.2.10 Aire	48
2.2.10.1 Tipos de Aire en el Concreto.....	49
2.2.11 Coque petrolero.....	49

2.2.11.1 Características del Coque de Petrolero	50
2.2.11.2 Clasificación y Usos del Coque de Petróleo	50
2.2.12. Diseño de mezcla	52
2.2.13. Método de Diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985).....	55
2.2.13.1 Procedimiento a seguir en el diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985).....	56
2.2.13.1 Corrección por humedad en el diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985).....	61
2.2.14 Método de diseño de mezcla propuesto por Joaquín Porrero y Grases.....	63
2.2.14.1 Procedimiento a seguir en el diseño de mezcla propuesto	64
2.2.14.2 Corrección por humedad en el diseño de mezcla por Porrero Joaquín Porrero y Grases	75
2.2.15. Determinación del contenido de humedad según norma COVENIN 1375-79.....	77
2.2.15.1 Procedimiento.....	77
2.2.15.2 Expresión de resultados de la determinación del contenido de humedad según norma COVENIN 1375-79.....	77
2.2.16 Determinación del contenido de humedad del coque según norma COVENIN 2508-88.....	78
2.2.16.1 Procedimiento	78
2.2.16.2 Expresión de resultados	78
2.2.17. Determinación del peso unitario del agregado según norma COVENIN 263-78.....	79
2.2.17.1 Procedimiento del peso unitario compacto utilizando la barra compactadora.	79

2.2.17.2 Procedimiento del peso unitario suelto con pala.....	80
2.2.17.3 Expresión de resultados	81
2.2.18. Determinación del peso específico y la absorción del agregado fino según COVENIN 268:1998 y la COVENIN 269:1998 para agregado grueso	81
2.2.18.1 Procedimiento para agregado fino según COVENIN 268:1998	82
2.2.18.2 Procedimiento para agregado grueso según COVENIN 269:1998	83
2.2.18.3 Expresión de resultados	83
2.2.18.4 Peso específico aparente	84
2.2.18.5 Peso específico de la masa saturada superficie seca .	85
2.2.18.6 Absorción.....	86
2.2.19. Determinación del peso específico relativo, verdadero y aparente y la porosidad del coque según norma COVENIN 2732-90	86
2.2.19.1 Procedimiento.....	86
2.2.19.2 Expresión de los resultados.....	87
2.2.19.3 Peso específico aparente	87
2.2.19.4 Porosidad.....	87
2.2.20. Determinación de la composición granulométrica. Agregados, según norma COVENIN 255-1998	88
2.2.20.1 Procedimiento.....	88
2.2.20.2 Expresión de resultados	89
2.2.21 Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams según norma COVENIN 339:2003	89
2.2.21.1 Procedimiento.....	89

2.2.21.2 Expresión de los resultados	91
2.2.22. Peso unitario del concreto endurecido	91
2.2.22.1 Procedimiento	91
2.2.22.2 Expresión de los resultados	91
2.2.23. Ensayo a compresión de cilindros de concreto según norma COVENIN 338:2002	92
2.2.23.1 Procedimiento	93
2.2.23.2 Expresión de los resultados	93
2.2.24 Resistencia a la abrasión	93
2.2.25 Concretos Permeables	95
CAPITULO III	98
MARCO METODOLOGICO	98
3.1. Proyecto factible	98
3.2. Tipo de investigación	99
3.3. Nivel de investigación	99
3.4. Técnicas y herramientas a utilizar	100
3.4.1 Revisión documental o bibliográfica	100
3.4.2. Observación directa.....	101
3.4.3. Instrumentos de recolección de datos	101
3.4.3.1. Instrumentos y equipos de oficina.....	101
3.4.3.2 Instrumentos y Equipos de campo	101
3.4.3.3. Instrumentos y equipos de laboratorio	102
3.5 Fases de la investigación	102
3.5.1 Recopilación y actualización de la Información	102
3.5.1.1 Revisión Bibliográfica.....	102
3.5.2 Identificación de las características del coque como agregado sustentable en mezclas de concreto	103

3.5.3 Realización de diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero bajo la concepción del método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grasas.....	104
3.5.4 Ensayos de las diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero según los requerimientos de las normas COVENIN	105
3.5.5 Definición de posibles aplicaciones en el campo de la construcción civil.	105
3.5.6 Conclusiones y recomendaciones.	106
CAPITULO IV.....	107
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	107
4.1 Características del Coque	107
4.1.1 Contenido de humedad de acuerdo a la COVENIN 1375-79	107
4.1.2 Determinación del peso unitario del agregado según norma COVENIN 263-78.....	110
4.1.3. Determinación del peso específico y la absorción según COVENIN 268:1998	113
4.1.4. Determinación de la composición granulométrica, según norma COVENIN 255-1998.....	116
4.2 Diseño de Mezclas de concreto.....	118
4.2.1 Caracterización de los agregados	119
4.2.1.1 Contenido de humedad.....	119
4.2.1.2 Peso unitario.....	120
4.2.1.3 Peso Específico	121
4.2.1.4 Granulometría	122
4.2.1.4 Curva Granulométrica.....	124
4.3 Diseño de mezcla patrón	125
4.3.1 Corrección por humedad	130
4.4 Diseño de mezcla con coque petrolero.....	131
4.4.1 Mezcla MCP-1	132

4.4.2 Mezcla MCP-2.....	133
4.4.3 Corrección por humedad para las mezclas MCP-1 Y MCP-2.....	134
4.5 Dosificación de los materiales	136
4.6 Mezclado del concreto.....	137
4.7 Medición de temperatura	138
4.8 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams	140
4.9 Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto.....	142
4.10 Peso unitario del concreto endurecido.....	143
4.11 Ensayo a Compresión	148
4.12 Ensayo a la abrasión y Absorción.....	153
4.12.1 Ensayo de absorción.....	155
4.12.2 Ensayo de abrasión.....	158
4.12.2.1 Expresión de los resultados.....	159
4.13 Posibles aplicaciones en el campo de la construcción civil	162
CAPITULO V.....	163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
5.1 Conclusiones	163
5.2 Recomendaciones	165
BIBLIOGRAFÍA	166
Anexos	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características y Composición del Concreto	36
Figura 2. Representación gráfica de la relación beta.....	66
Figura 3. Representación Gráfica de la Ley de Abrams	71
Figura 4. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de Cemento (C) y la relación agua/cemento.....	72
Figura 5. Peso unitario compacto	80
Figura 6. Medición del asentamiento	91
Figura 7. Muestras para contenido de humedad.....	109
Figura 8. Peso unitario suelto	111
Figura 9. Peso unitario compacto	112
Figura 10. Muestra del coque sumergida en agua.....	114
Figura 11. Tamices utilizados en ensayo granulométrico	117
Figura 12. Medición de la temperatura	139
Figura 13. Medición del asentamiento	141
Figura 14. Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto	143
Figura 15. Densidad del concreto	144
Figura 16. Dimensiones del cilindro	144
Figura 17. Ensayo de compresión	149
Figura 18. Dimensiones del bloque.....	154
Figura 19. Mecanismo empleado para ensayo de absorción.....	156
Figura 20. Equipo utilizado para ensayo de abrasión	158
Figura 21. Medición del largo y el de la marca originada por el disco de corte	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado, porcentajes pasantes.....	41
Tabla 2. Valores típicos de los componentes del coque	50
Tabla 3. Valores de F'_{cr} de acuerdo a F'_c	56
Tabla 4. Valores de F'_{cr} de acuerdo al control de calidad	57
Tabla 5. Contenido De Aire Atrapado	57
Tabla 6. Volumen Unitario De Agua.....	57
Tabla 7. Relación agua / cemento por resistencia	58
Tabla 8. Volumen de agregado grueso para un volumen unitario de concreto	60
Tabla 9. Factores de modificación para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos consecutivos.....	68
Tabla 10. Resistencia promedio a la compresión requerida, F'_{cr} cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar.....	68
Tabla 11. Relación agua/ cemento máximo permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra	69
Tabla 12. Valores usuales de asentamiento con el Cono de Abrams.....	73
Tabla 13. Datos de la determinación de contenido de humedad	109
Tabla 14. Datos del peso unitario suelto y peso unitario compacto	112
Tabla 15. Resumen de los resultados del peso unitario suelto	112
Tabla 16. Resumen de los resultados del peso unitario compacto	113
Tabla 17. Datos para el cálculo del peso específico y la absorción	114
Tabla 18. Resumen de los resultados.....	116

Tabla 19. Granulometría del coque petrolero.....	117
Tabla 20 Contenido de humedad de la arena	119
Tabla 21. Contenido de humedad de la piedra	120
Tabla 22. Peso unitario suelto de la arena y de la piedra	120
Tabla 23. Peso unitario compacto de la arena y de la piedra	120
Tabla 24. Peso específico y absorción de la piedra	121
Tabla 25. Peso específico y absorción de la arena.....	121
Tabla 26. Resumen de los resultados del peso específico y el porcentaje de absorción de la arena y de la piedra	122
Tabla 27. Granulometría de la arena	122
Tabla 28. Granulometría del coque petrolero.....	123
Tabla 29. Granulometría de la piedra	123
Tabla 30. Características de los agregados mezcla MP	126
Tabla 31. Valores para interpolación	127
Tabla 32. Valores para interpolación	128
Tabla 33. Resumen de volúmenes	129
Tabla 34. Resumen de la mezcla MP	130
Tabla 35. Humedad de la piedra y de la arena	130
Tabla 36. Pesos de los materiales ya corregidos de la MP.....	131
Tabla 37. Características de los agregados, MCP-1.....	132
Tabla 38. Resumen de la MCP-1	133
Tabla 39. Resumen de la mezcla MCP-2.....	134
Tabla 40. Humedad del coque	134

Tabla 41. Pesos de los materiales ya corregidos de la MCP-1.....	136
Tabla 42. Pesos de los materiales ya corregidos de la MCP-2.....	136
Tabla 43. Dosificación de los materiales.....	137
Tabla 44. Resultados de Asentamientos	141
Tabla 45. Resultados de Peso Unitario MP	145
Tabla 46. Resultados de peso unitario MCP-1.....	145
Tabla 47. Resultados de peso unitario MCP-2.....	146
Tabla 48. Promedio de peso unitario	146
Tabla 49. Resultados de resistencia MP.....	150
Tabla 50. Resultados de resistencia MCP-1	150
Tabla 51. Resultados de resistencia MCP-2.....	150
Tabla 52. Resistencia Promedio	151
Tabla 53. Dosificación de los materiales.....	155
Tabla 54. Ensayo de absorción MP	156
Tabla 55. Ensayo de absorción Mezcla MCP-1	156
Tabla 56. Ensayo de absorción Mezcla MCP-2	157
Tabla 57. Expresión de Datos.....	159
Tabla 58. Resultados del ensayo de abrasión	161

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Curva Granulométrica del coque	118
Grafico 2. Curva Granulométrica de la arena.....	124
Grafico 3. Curva Granulométrica Coque	124
Grafico 4. Curva Granulométrica Piedra	125
Grafico 5. Temperatura de las mezclas	139
Grafico 6. Comparación de asentamientos	142
Grafico 7. Comparación del peso unitario para las diferentes mezclas en sus 3 edades (3, 7 y 28 días)	147
Grafico 8. Comparación de resistencias	151
Grafico 9. Resistencia a los 28 días.....	152
Grafico 10. Ensayo de Absorción.....	157
Grafico 11. Ensayo de Abrasión	161

INTRODUCCIÓN

En el área de la construcción el material más llamativo por sus propiedades de resistencia y seguridad es el concreto, actualmente con la creciente demanda de este material, ha motivado a los involucrados en la industria de la construcción a buscar nuevas opciones en la implementación de materiales, considerando accesibilidad, sustentabilidad ambiental, rendimiento y mejoras sobre las características de la mezcla de concreto tradicional. A lo largo de los años se han realizado estudios en las mezclas de concreto agregando o sustituyendo componentes a la mezcla convencional, lo cual busca alterar sus características y propiedades, a fin de observar la factibilidad del uso de materiales alternos que beneficie a la industria de la construcción.

El coque de petróleo se obtiene a partir de un proceso del refinado del petróleo y contiene una elevada proporción de carbono. En estos últimos años la producción mundial del coque de petróleo, generalmente llamado **Petcoque** ha sido superior a 80 MMt (millones de toneladas) al año, y como consecuencia de este alto volumen, se ha buscado diversas alternativas para su aprovechamiento, de tal forma que este subproducto no siga aumentando su contaminación ambiental. Se hace énfasis en el coque de petróleo ya que al ser utilizado como agregado a la mezcla convencionales se estaría aportando ideas para disminuir el alto volumen de toneladas de este subproducto y así seguir evitando vertederos de dicho material, de igual manera estaría siendo una alternativa en la implementación de materiales sustituyendo componentes a la mezcla convencional y probando su utilidad en el mundo de la construcción.

En el presente trabajo de investigación se realizarán estudios de las características físicas y mecánicas del coque de petróleo, para ser incorporado como agregado sustentable a las mezclas diseñadas en

diferentes proporciones, a través de ensayos, los cuales demostrarán la utilidad que tendrá este material como agregado para darle un uso en la industria de la construcción, siguiendo los parámetros guiados por el Método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grases, bajo la concepción de los requerimientos mínimos señalados en la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).

Para lograr los objetivos propuestos, se estructura el trabajo de investigación por capítulos de la siguiente manera:

Capítulo I. El Problema: En esta etapa de la investigación se plantea las bases que sustentan el planteamiento del problema central de este estudio; así como, también se definen tanto el objetivo general, como los objetivos específicos que guiaron el desarrollo del trabajo.

Capítulo II. Marco Teórico: En este capítulo se describen los antecedentes de la situación a estudiar, además comprende el resumen de la serie de elementos conceptuales, relacionados con el tema de la presente investigación, que sirve de base, al desarrollo de la misma.

Capítulo III. Marco Metodológico: En esta fase de la investigación, se explica la forma en que se desarrolla el estudio, para poder dar respuesta al problema planteado, haciendo referencia a la metodología aplicada, al diseño y tipo de la investigación, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, las cuales fueron utilizadas para llevar a cabo la elaboración del trabajo. De igual manera, explica la metodología aplicada en el presente trabajo de investigación.

Capítulo IV. Análisis de los Resultados: Enmarca el cumplimiento de cada objetivo específico, los resultados y el análisis de los mismos.

Capítulo V. Conclusiones Y Recomendaciones: Este capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo, finalmente se presentan las referencias bibliográficas en las que se mencionan cada uno de los textos y páginas web consultadas para la elaboración de este trabajo.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, las actividades efectuadas mediante la ingeniería han generado impactos que afectan negativamente la integridad de los ecosistemas, es por ello que la ciencia y la tecnología se han visto en la necesidad de contribuir en las soluciones a los diversos problemas ambientales; es notorio que la aplicación de la ingeniería va de la mano con el progreso y el desarrollo de los pueblos, en especial la ingeniería civil, por esa razón es evidente su corresponsabilidad en la alteración ambiental.

La ingeniería civil, desde sus múltiples ramas, se basa en la utilización de estrategias para cuidar el ambiente, reduciendo contaminantes. Bajo la concepción de estas estrategias, incorporan el uso de técnicas y métodos constructivos, con menor impacto al ambiente, así como también la reutilización de materiales, dentro del desarrollo de los proyectos constructivos como es el uso de materiales sustentables.

A partir de lo anteriormente descrito, se considera que en los próximos años el porcentaje de materiales reciclados o reutilizados deben de ir en aumento, de forma que el vertedero sea la idea menos satisfactoria. Por lo tanto, el aprovechamiento al máximo de cualquier subproducto generado durante un proceso industrial debe de tener una inmediata atención. Una de las formas de la reutilización de los materiales, es buscar aplicaciones concretas de uso que sean compatibles con las características de los mismos.

Es dentro de este contexto que aparece el coque petrolero, el cual es un subproducto industrial, procedente del proceso del refino del petróleo, este material se ha ido acumulando en grandes cantidades sin tener un posterior uso. Según el reporte El Coque en Venezuela, publicado en

septiembre 2011 en el “blog spot” Ciencia Libre, Venezuela tiene una producción de aproximadamente entre 12.000 y 15.000 toneladas de coque diariamente en el Complejo Industrial José Antonio Anzoátegui, también denominado complejo de Jose, lo que representa 6% del coque producido a nivel mundial. En los patios de Jose y en distintos espacios del complejo industrial hay toneladas de coque conformando unos cerros con dicho material residual, lo cual lo convierte en una problemática de orden ambiental, social, laboral y económica.

Debido a la problemática presentada, surge la idea de crear mezclas de concreto incorporando este subproducto como un agregado sustentable para establecer un posible uso en la industria de la construcción, de esta manera se estarían aportando ideas para disminuir los imponentes vertederos que existen de este material actualmente, el cual está ocasionando daños ambientales a las zonas adyacentes donde el coque petrolero se acumula a cielo abierto.

En este orden de ideas, se realizaron estudios preliminares basados en una metodología experimental, guiados por el Método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grasas, bajo la concepción de los requerimientos mínimos señalados en la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN); con la finalidad de estudiar el comportamiento que tiene este material como agregado sustentable en mezclas de concreto, para obtener resultados que a partir de ellos se logre establecer los posibles usos que se le puede dar en la industria de la construcción.

Es por ello que el alcance del presente trabajo investigativo, ha sido realizar principalmente el estudio de las características físicas y mecánicas del coque petrolero, para ser incorporado a las mezclas diseñadas en diferentes proporciones, es decir; haciendo una variación del agregado fino convencional que en este caso es la arena, el diseño de mezcla establecido es una mezcla de resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Los ensayos realizados siguieron los parámetros establecidos por las normas COVENIN son los siguientes:

Ensayo de Densidad según norma COVENIN 268:1998.

Ensayo de la Determinación Granulométrica según norma COVENIN 255:1998.

Ensayo de Porcentaje de Humedad, según norma COVENIN 1375-79.

Ensayo para determinar el peso unitario del agregado según norma COVENIN 263:1978.

Ensayo de Asentamiento, según norma COVENIN 339:2003.

Ensayo de Compresión, según norma COVENIN 338:2002.

Estos ensayos son los que permitirán determinar cuál será el debido uso que se le puede dar a la mezcla elaborada a base de coque.

Como punto de referencia, para la incorporación del coque como agregado sustentable en mezclas de concreto, fueron tomados en cuenta estudios ya realizados. La investigación de Freitas (2012), establece que el coque presenta unas propiedades físicas tales como: baja densidad, alta porosidad abierta y configuración en forma de granos; además refleja que entre el coque y la pasta de cemento no indica reacción alguna, ya que éste se comporta como un árido inerte, con una interfase, convirtiendo a este material idóneo para ser utilizado como agregado sustentable. La presente investigación cuenta con una originalidad cabal, ya que su estudio se centra en establecer posibles usos de este subproducto del petróleo incorporándolo como agregado sustentable en mezclas de concreto.

Este proyecto es de gran aporte para contribuir con el cuidado del ambiente, con un posible uso de este material de manera racional, se podría mitigar la contaminación que está generando el coque petrolero en las adyacencias donde se encuentran grandes toneladas acumuladas a cielo abierto. Del mismo modo, el trabajo realizado es una fuente sólida de información para cualquier proyecto similar, que se desee realizar, para la

Universidad de Oriente, de igual modo el presente estudio sirve de antecedente a futuras investigaciones afines con el área de ingeniería civil, enmarcadas en utilizar agregados no convencionales en mezclas de concreto, así como representa un valioso aporte que pretende resaltar, aún más, la excelencia académica de esta casa de estudio, por ser el primer trabajo de grado que trata el uso del coque petrolero como agregado sustentable.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Establecer posibles aplicaciones del coque petrolero como agregado sustentable en mezclas de concreto.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características del coque petrolero como agregado sustentable en mezclas de concreto.
- Realizar diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero bajo la concepción del Método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grases
- Ensayar las diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero según los requerimientos de las normas COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales).
- Definir posibles aplicaciones en el campo de la construcción civil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Agreda y Magín (2012), presentaron un trabajo final de grado, cuyo objetivo principal estaba basado prácticamente en analizar las propiedades mecánicas de un mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usado en elementos estructurales y no estructurales, el cual se llevó a cabo de acuerdo a una metodología de trabajo de tipo descriptiva, experimental y con un diseño que aplica estrategias de campo, documental y experimental.

El principal resultado de este trabajo de grado fue que el polietileno de baja densidad puede ser usado como agregado en las mezclas, a fin de contribuir al proceso de disposición final de los residuos plásticos contaminantes, lo cual ayuda de forma directa o indirecta a disminuir el impacto ambiental que esta causa. Dichas mezclas pueden utilizarse en la construcción de elementos de obras civiles (viviendas unifamiliares, multifamiliares, aceras y revestimientos en paredes), cuyas cargas y durabilidad sean bajas.

Esta investigación será de gran aporte para el estudio planteado en la aplicación del coque petrolero como agregado sustentable en mezcla de concreto, ya que la metodología a seguir servirá de modelo para realizar la presente investigación. De igual manera, los conceptos expuestos por los investigadores, permitieron una mejor comprensión en el tema de mezcla sustentables, así como el de entender que los residuos industriales pueden utilizarse como agregado para preparar mezclas que posteriormente se utilizan en las construcciones de obras civiles.

Freites (2012), presentó una propuesta en Caracas ante el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA), donde el objetivo principal fue hacer un análisis

morfológico y estructural para la elaboración de pastas de cemento mezcladas con coque, basada en una metodología experimental y revisión documental, establecida en la modalidad de proyecto factible.

El resultado esperado de esta propuesta llevó a la conclusión que la incorporación del coque no provoca cambios morfológicos en los morteros, ya que este se comporta como un árido inerte, con una interfase que no indica reacción alguna entre el coque y la pasta de cemento, donde se puede afirmar que el coque puede ser empleado como árido en la elaboración de morteros porosos y de baja densidad.

El trabajo realizado por este investigador, aportó información, tanto en la parte teórica, como en los ensayos utilizados en la elaboración de pasta de cementos mezcladas con coque; de igual manera, dando la veracidad que el coque petrolero no provoca cambios morfológicos y se puede comportar como árido inerte, indicando que no provoca ninguna reacción entre el coque y la pasta de cemento, donde se pudo presenciar que el coque puede ser empleado como un agregado.

Barrera y Díaz (2011), realizaron una investigación con el propósito de proponer un plan para el reciclaje de los neumáticos. Esta propuesta, involucra la intervención gubernamental, universitaria y gerencial del municipio San Rafael de Carvajal, estado Trujillo, para coordinar esfuerzos en función de llevar a la práctica un proyecto de producción ecoamigable para la obtención de un material que puede utilizarse como polímero o aditivo que otorga flexibilidad a las mezclas asfálticas, de modo que estas sean más resistentes y duraderas a los agentes atmosféricos (lluvias, aguas residuales) que provocan su deterioro.

Considerando el objetivo de la investigación, basado en el pensamiento ecoamigable; el logro de ese objetivo se hizo a través de la investigación acción participante, para lo cual fue necesario interactuar permanentemente con personas claves del municipio San Rafael de Carvajal: líderes políticos,

representantes de las líneas de transporte, comerciantes, profesores universitarios, representantes de la alcaldía a la cual hace referencia al diseño de campo.

A la luz de los objetivos planteados y los hallazgos formulados, el principal resultado fue que el reciclaje de neumáticos fuera de uso, permite la obtención de un material que puede utilizarse en la industria de la construcción, del calzado, campos de juego, parques, aislantes acústicos, alfombras, entre otros; sin embargo, dadas las condiciones viales, tanto del estado Trujillo, como del resto del país, resulta interesante utilizar el producto derivado como polímero o aditivo que otorga flexibilidad a las mezclas asfálticas, de modo que estas sean más resistentes y duraderas a los agentes atmosféricos (lluvias, aguas residuales) que provocan su deterioro.

Este estudio es de gran relevancia para la presente investigación, puesto que sirvió de referencia teórica y práctica para la ejecución de las diferentes operaciones, técnicas, herramientas y procedimientos, que sigue los mismos objetivos que se lograron en esta investigación, la cual es contribuir con el cuidado del ambiente, con un posible uso de un material de manera racional, para mitigar una problemática de orden ambiental, social, laboral y económica.

Delgado (2006), desarrolló bloques de concreto vibrado, utilizando coque y cemento Portland Tipo I, como materia prima. El tipo de investigación efectuada se enmarcó dentro de la modalidad de proyecto factible, el cual se apoya en un diseño de base documental, en el que aborda un problema de tipo práctico con el propósito de conocer su naturaleza y característica.

El investigador, para garantizar el éxito de su proyecto, realizó una serie de pruebas a objeto de demostrar la resistencia y calidad de los bloques elaborados a base de coque; una vez recopilada y analizada toda la información obtenida, se llegó a la conclusión que los bloques elaborados a

base de coque presentan buena resistencia, maniobrabilidad, son livianos, resistentes al fuego y posee un precio de venta al público inferior en 23% a sus similares elaborados a base de cemento, arena y del tipo aliven.

El aporte de dicho estudio está referido a que el coque si puede ser utilizado como agregado en el área de la construcción. Las prácticas realizadas lograron identificar que el coque al mezclarse con otro material puede demostrar durabilidad, resistencia y calidad en la mezcla, logrando así evidenciar que el coque presenta un buen comportamiento como agregado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sustentable

Según Brundtland (1986), Es el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. Es decir, es la capacidad que tiene una sociedad para hacer un uso consciente y responsable de sus recursos, sin agotarlos o exceder su capacidad de renovación.

De tal manera que para una sociedad la sustentabilidad significa la existencia de condiciones económicas, ecológicas, sociales y políticas que permitan su funcionamiento de forma armónica a lo largo del tiempo y del espacio. Lo sustentable se vincula normalmente con la palabra desarrollo, articulándose entonces como "desarrollo sostenible o perdurable".

Se trata de satisfacer a todos con una responsabilidad coherente y un equilibrio entre el crecimiento económico, los recursos que nos proporciona la naturaleza y la sociedad moderna del bienestar.

2.2.2. Mezcla sustentable

Castaño y Vidaud (2013) definen que la mezcla sustentable está constituida por agregados de materiales reciclados (en sustitución parcial o total de los naturales); es decir, agregados procedentes de residuos o de demoliciones que se someten a procesos de cribado, triturado y tratamiento

para formar parte del nuevo concreto, lo que genera tener múltiples tendencias a la reducción, reutilización, reciclaje y revalorización de los residuos que genera en muchos casos la propia actividad constructiva o de cualquier proceso de actividades industriales.

Muchas y diversas son las ventajas que ofrecen los concretos elaborados con agregados reciclados como son: menor extracción de materias primas de las canteras, menor costo de transportación, aumento de las ganancias, reducción en el impacto ambiental, y la disminución del uso de las reservas de los agregados naturales. Todas son situaciones de actualidad que han contribuido al uso del reciclaje con el objetivo de lograr la conservación de las canteras de agregados naturales, así como la reutilización de materiales de forma que el vertedero sea la idea menos satisfactoria.

De esta manera puede afirmarse que la principal ventaja de emplear mezclas sustentables en las obras; más que ser económico y social, es medioambiental.

La sustentabilidad en el área de la construcción juega un papel importante ante la sociedad, es un factor que involucra tres aspectos fundamentales, los cuales son: economía, sociedad y medio ambiente los cuales deben de estar presente en todos los proyectos civiles anudado a esto las mezclas sustentables se caracteriza básicamente por contar con agregados no convencionales, los cuales se mezclan con cemento, agregados convencionales, agua y aditivos para obtener un concreto de características físicas y mecánicas de acuerdo al diseño.

2.2.3 Concreto

El Concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de: cemento, agua, agregados aire y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que

posteriormente denota una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.

Porrero y Grases (2009) en su manual de concreto estructural definen al concreto como un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La representación común del concreto convencional en estado fresco, lo identifica como un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido.

Teniendo en cuenta esto, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- 1.- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- 2.- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.

3.- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

2.2.3.1 Principales características del concreto

Porrero y Grases (2009) establecen que 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 también como manejabilidad, docilidad, trabajabilidad, asentamiento entre otros. En estos conceptos, no todos exactamente sinónimos, se engloban las características relativas a la mayor o menor facilidad para colocar el concreto.

La segunda propiedad es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto. La fluidez suele medirse con ensayos que evalúan el grado de plasticidad de la mezcla. La resistencia se determina por medio de ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el conocedor puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como flexión, corte o tracción. En casos necesarios estas características, así como la deformabilidad bajo carga o módulo de elasticidad, también pueden determinarse directamente.

2.2.4. Control de calidad

La industria de la construcción, al igual que todas las actividades productivas, ha reconocido la importancia de aplicar los criterios y prácticas del control de calidad, tanto en beneficio del usuario de la obra como del constructor de la misma. Los planteamientos generales, tales como: Calidad Total, Garantía de Calidad, y otros, tienen perfecta aplicación a la actividad

de elaborar y manejar Concreto, mediante la adecuación de los principios a esquemas operativos relativos a cada caso.

La calidad de un concreto dado va a depender de la calidad de sus componentes, de la calidad de su diseño de mezcla y su posterior 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 estructural, se establecen en el Capítulo 3 de la Norma COVENIN 1753, Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y diseño.

2.2.5. Relación entre La Calidad del Concreto y su Composición

Las propiedades del Concreto dependen, fundamentalmente, de las características y proporciones de los componentes que integran la mezcla.

Entre estas proporciones de los componentes y los índices de calidad de la mezcla se establecen relaciones que se pueden expresar de una forma esquemática. Como se muestra en la Figura 1

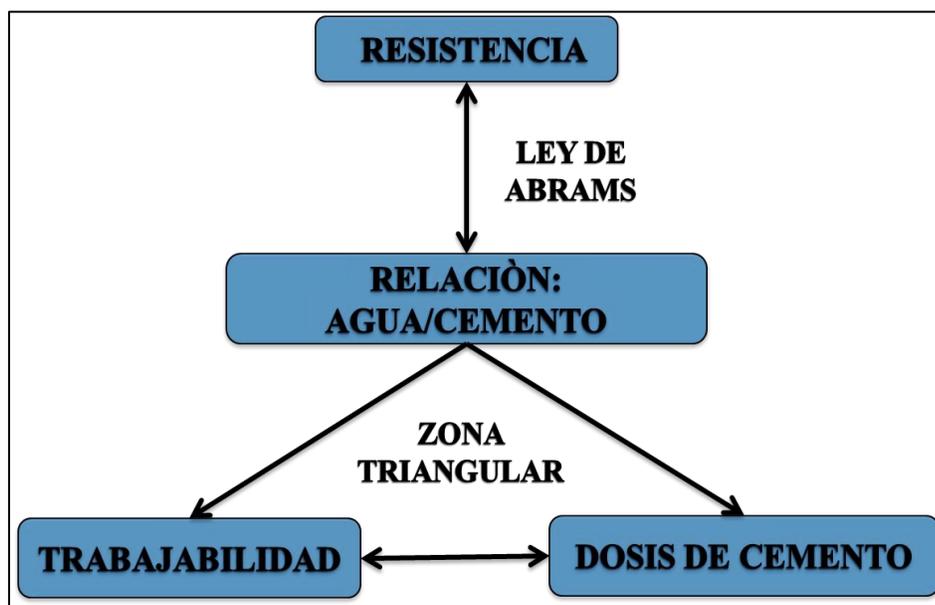


Figura 1. Características y Composición del Concreto

Fuente: Porrero y Grases (2009)

En la Figura 1. Se establecen dos áreas de relaciones: una que enlace la dosis de cemento con la trabajabilidad y la relación agua/cemento y la otra que enlace la resistencia con la relación agua/cemento. Cualquier variación en alguno de ellos traerá como consecuencia la variación de lo restante.

2.2.6. Agregados

Agregado es aquel material granular el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero.

De acuerdo a Libia López (2003), Los agregados son fragmentos o granos pétreos que conforman la mezcla de concreto junto a otros materiales y la dotan de características favorables relacionadas con el desarrollo de resistencias mecánicas, trabajabilidad, la adherencia con la pasta de cemento y la disminución de retracción plástica, entre otras. Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante.

Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización. La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado. Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos.

2.2.6.1. Tipos de Agregados

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

2.2.6.2. Agregado Fino (Arena)

Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm;

Según Libia López (2003), la arena es un material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Micras (0.074 mm.). Puede ser natural proveniente de ríos, minas a cielo abierto o artificial la cual es producto de la trituración de rocas.

Según su tamaño, se agrupan en:

- ✓ **Gruesa:** entre 5 y 2 mm
- ✓ **Media:** entre 2 y 1 mm
- ✓ **Fina:** menos de 1 mm.
- ✓ **Limo:** menos de 0,08 mm

La Arena, en virtud de su composición, tendrá diferentes características. Uno de los aspectos más importantes de las arenas es su comportamiento con la humedad, ya que ellas tienen mayor facilidad para retenerla que el agregado grueso y en consecuencia es más difícil de secarlas. La humedad produce variaciones significativas en el volumen de la misma, dependiendo estos cambios de la composición granulométrica del agregado, esto es, mientras más fina es la arena mayor es la humedad, y por lo tanto mayor la variación de volumen.

2.2.6.3 Agregado Grueso (piedra picada)

Los agregados gruesos pueden ser de piedra triturada o grava, son aquellos cuyas partículas se retienen en el tamiz No. 4 y todos los demás colocados por encima de este, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. Libia López (2003) pág. 14.

Cuando el agregado grueso es obtenido por trituración de rocas, material que se conoce como “piedra picada”, resultan granos semiangulosos, de superficie más rugosa y buena adherencia. Los cantos rodados redondeados; suelen tener una resistencia alta y superficie lisa que

permiten trabajarlos con menos agua, pero que se adhieren menos fuertemente a la pasta.

En cambio, la piedra picada es angulosa y en consecuencia dan menor trabajabilidad, lo cual queda compensado en parte por tener superficie rugosa y por consiguiente una adherencia mayor. Por consiguiente, la forma y textura del agregado grueso influyen en la resistencia a la flexión del concreto; por ejemplo, el agregado triturado genera una mayor resistencia que el redondeado o canto rodado, ya que la rugosidad incrementa la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado.

Para producir concretos con mejor comportamiento se requiere que los agregados (gruesos y finos) tengan una gradación continua, lo que origina una reducción en la cantidad de agua para cierta trabajabilidad, incrementándose la resistencia, durabilidad del concreto y disminuyéndose los costos.

2.2.7. Propiedades principales del agregado

2.2.7.1. Granulometría

La granulometría se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. Libia López (2003) pág. 29.

Por otro lado, Porrero y Grases (2009), se le denomina granulometría a la distribución de los tamaños de las partículas que lo constituyen, expresados en porcentaje acumulativo del material que pasa o es retenido en un conjunto de cedazos o tamices. Esta característica decide, de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto.

Los tamices normalizados más utilizados son: #4, #8, #16, #30, #50, #100, y #200 para agregado fino, y 1 ½", 1", ¾", 3/8", ¼", #4, y #200 para agregado grueso. Tal como se aprecia en la Tabla: N^o 1.

En la tabla N^o 1 se ofrecen los límites granulométricos de la zona granulométrica recomendada con los tamaños máximos, usados con más frecuencia. Es importante mencionar que estos límites granulométricos no son normativos, son solo una ilustración de zonas que permiten obtener concreto adecuados.

La granulometría se relaciona directamente con la trabajabilidad del concreto, y así con todas las propiedades ligadas a ésta. En esto radica la importancia de estudiar la granulometría de los agregados. La granulometría de la arena tiene mayor influencia sobre la trabajabilidad que el agregado grueso en razón de su mayor valor de superficie específica.

Tabla 1. Límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado, porcentajes pasantes

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	3 ^{1/2}	3	2 ^{1/2}	2	1 ^{1/2}	1	¾	½	3/8	¼
88,9	3 ^{1/2}	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76,2	3	95-80	100-90	-	-	-	-	-	-	-	-
63,5	2 ^{1/2}	92-60	92-70	100-90	-	-	-	-	-	-	-
50,8	2	85-50	87-55	87-65	100-90	-	-	-	-	-	-
38,1	1 ^{1/2}	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	¾	63-30	68-35	68-43	73-53	77-61	95-70	100-90	-	-	-
12,7	½	57-28	62-32	62-37	68-44	70-49	85-65	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	¼	45-22	48-25	58-30	60-35	60-35	78-55	65-45	65-51	98-85	100-90
4,76	#4	43-22	48-25	50-28	55-30	55-30	55-30	60-38	58-42	95-75	65-52
2,38	#8	40-20	43-20	45-20	45-20	45-20	48-20	45-20	43-37	90-60	38-26
1,19	#16	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	35-15	31-17	80-40	21-9
0,59	#30	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	25-10	20-10	60-20	8-2
0,29	#50	16-7	16-7	16-7	16-7	16-7	16-5	16-5	11-5	10-2	5-1
0,14	#100	8-2	8-2	8-2	8-2	8-2	8-1	8-1	6-1	5-0	2-0

Fuente: (Porrero y Grases, 2009)

2.2.7.2. Curvas granulométricas

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

En cambio, una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos.

2.2.7.3. Tamaño Máximo

El tamaño máximo del agregado es un factor que se deriva del análisis granulométrico y está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 95% del material aproximadamente. Libia López (2003) pág. 31.

El parámetro tiene especial significado para el agregado grueso cuyo tamaño máximo debe ajustarse a las dimensiones y especificaciones de la estructura. Por otra parte, desde el punto de vista del diseño de mezcla, cuanto mayor sea el tamaño del agregado grueso, menos agua y cemento se requieren para producir concreto de una calidad dada.

La clasificación y el tamaño máximo del material granular son importantes debido a su efecto en las clasificaciones, docilidad, economía, porosidad y contracción de la mezcla.

Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- ✓ 1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes.
- ✓ 1/3 del espesor de las losas.
- ✓ 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas o torones de pretensado.

2.2.7.4. Módulo de finura

Según Libia López (2003). El módulo de finura, da una idea del grosor o finura del agregado. El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Los cedazos de la serie normalizada son los COVENIN: #100 (149 μm), #50 (297 μm), #30 (595 μm), #16 (1,19mm), #8 (2,38 mm), #4 (4,76 mm), 3/8" (9,51 mm), 3/4" (19,00 mm), 1 1/2" (38,19 mm) y mayores. Los Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del concreto, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del concreto.

El módulo de finura quedara expresado de la siguiente manera:

$$\mathbf{MF} = \%retenido_acumulado \frac{1^1 + 2^3 + 4^3 + 8^3 + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100}$$

(Ec.1)

2.2.7.5. Peso unitario

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la

granulometría, tamaño, forma y textura del agregado. Libia López (2003) pág. 24.

Existen dos tipos de peso unitario a saber:

➤ **Peso unitario compactado**

Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa. El valor del peso unitario compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto. Libia López (2003) pág. 24.

➤ **Peso unitario suelto**

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa. El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor. Libia López (2003) pág. 24.

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra.

2.2.7.6. Peso Específico

Es el peso de un cuerpo dividido entre su volumen. Según Libia López (2003), Esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. El peso específico se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de peso específico.

➤ **Peso específico de la masa**

Es la relación entre el peso de la masa de agregado y el volumen que ocupan solo sus partículas sólidas.

➤ **Peso específico de la masa saturada superficie seca**

Es la relación que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen

➤ **Peso específico aparente**

Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

2.2.7.7. Humedad

De acuerdo Porrero y Grases (2009) es la diferencia entre el peso del material húmedo y el mismo, secado al horno.

Se suele expresar como porcentaje en peso, referido al material seco. Esta se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes: uno es rellenando los poros y micro poros internos de los granos, y la otra es como una película envolvente más o menos gruesa.

La humedad de los agregados es una característica que tiene que ser controlada, pues de lo contrario no será posible hacer las correspondientes correcciones de los pesos de los agregados y del agua que requiere su variabilidad.

2.2.7.8. Absorción

La absorción, o diferencia entre el grano seco y el húmedo, o entre el seco y el saturado con superficie seca, puede retirar, por el contrario, importantes cantidades de agua de la mezcla. Porrero y Grases (2009) pág. 15.

Estos aportes o retiros alteran consecuentemente la relación agua-cemento, o valor de alfa.

El agua de mojado superficial de los granos del agregado hace que estos queden ligeramente separados entre sí por la película que los rodea, lo que da lugar a que, en su conjunto, el material se “esponjen”. En los agregados gruesos este efecto es poco perceptible, mientras que, en las arenas, debido a su mucha mayor superficie específica, el fenómeno es notable.

2.2.8 Cemento

Ariana Astorga (2009) establece que el cemento es un material aglomerante quizás el más importante y empleado en la construcción. Está formado por una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras sustancias que se muelen hasta obtener una textura muy fina, y una vez hidratado se endurece al entrar en contacto con el aire (fraguado), adquiriendo una gran resistencia.

Por ser un material aglomerante, el cemento tiene la propiedad de que en estado pastoso y con consistencia variable, se puede moldear, adherir fácilmente a otros materiales, unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias mecánicas considerables.

Por otro lado, Porrero y Grases (2009), en su manual de concreto estructural definen al cemento como el componente activo del concreto que influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente solo un 10 a un 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.

El cemento se obtiene a partir de materias primas abundantes en la naturaleza. Su elaboración se realiza en plantas industriales de gran capacidad, en donde debe ser controlado estrictamente, lo que redundará en su calidad y en la confiabilidad que sobre él pueda tener el usuario.

En la construcción cuando se habla de cemento se alude al cemento Portland o cemento sobre la base de Portland, ya que son los productos aglomerantes que se usan casi exclusivamente con fines estructurales. Para otros aglomerantes distintos, también empleados en construcción, se suele añadir a la palabra cemento, alguna otra que los especifique.

El cemento Portland es el producto obtenido de la pulverización de un Clinker que consiste, esencialmente, en silicatos hidráulicos de calcio obtenido por un calentamiento a fusión parcial de una mezcla homogénea de

materiales que contienen principalmente: Cal (CaO). Sílice (SiO₂), con una pequeña porción de alúmina (Al₂O₃) y oxígeno férrico (Fe₂O₃).

En esta misma forma, Porrero y Grases., (2009), señala que “Los índices principales que se usan para determinar directamente la calidad del cemento, son: fraguado, finura y resistencia mecánica. Hay además otros índices directos a los que usualmente se les pone menos atención considerándolas parámetros más o menos estables”. (p 64).

2.2.9 Agua

Según Porrero y Grases (2009), el agua es imprescindible en varias etapas de la elaboración del concreto: mezclado, fraguado y curado. El agua de mezclado ocupa normalmente entre 15% y 20% del volumen de concreto fresco y, conjuntamente con el cemento, forman un producto coherente, pastoso y manejable, que lubrica y soporta los agregados, acomodable en los moldes.

De acuerdo a esto se puede definir al agua como aquel componente del concreto en virtud del cual el cemento experimenta reacciones químicas que le dan propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. El agua en la mezcla se compone del agua de adición y de la humedad natural de los agregados. La relación entre la cantidad de agua de la mezcla y la cantidad de cemento se expresan con la relación agua/cemento.

Para que el agua sea apta para el amasado del concreto, debe estar limpia y encontrarse libre de impureza por encima de determinados límites, de forma que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en su fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni riesgos para su durabilidad. El hecho de que el agua tenga aspecto limpio no ofrece seguridad suficiente sobre su pureza.

Las aguas potables son idóneas para la preparación del concreto, con excepción de determinadas aguas minerales. Pueden utilizarse algunas

aguas no potables cuya cantidad de sólidos disueltos sea menor de 2000 ppm. En general, las aguas que son inodoras, incoloras e insípidas y que no forman espumas o gases cuando se agitan, pueden utilizarse en la elaboración del concreto.

2.2.9.1. Agua de Diseño

Es aquella que se combina con el cemento para formar la pasta. Sus funciones principales son hidratar al cemento y proporcionar fluidez a la mezcla lubricando a los agregados de manera que se obtenga la trabajabilidad deseada.

2.2.9.2. Agua Evaporable

Es el agua restante que se encuentra en la pasta, pero que no se encuentra libre en su totalidad.

2.2.9.3. Agua de Hidratación o no Evaporable

Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel de cemento

2.2.9.4. Agua de curado

Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento durante su fase de endurecimiento.

2.2.10 Aire

Cuando se enumeran los componentes básicos del concreto: cemento, arena, piedra picada y agua, normalmente el aire no se menciona; esto se debe a que su contenido, en un concreto normal, no supera, generalmente, el 2% del volumen de la mezcla.

En la producción de concreto interviene gran cantidad de factores que influyen en su calidad, siendo uno de ellos el aire que queda atrapado dentro de la mezcla o el que es incluido intencionalmente para cambiarle o mejorarle algunas de sus propiedades.

Sin embargo, como es casi de conocimiento general entre las personas dedicadas al concreto, del incremento intencional del contenido de aire, mediante el uso de aditivos incorporadores de aire, se derivan para el concreto, ventajas indiscutibles en lo que se refiere a sus propiedades en estado fresco y endurecido.

2.2.10.1 Tipos de Aire en el Concreto

- **Aire que llena los poros no saturados (o los no saturables):** no ejerce ninguna acción específica en el concreto.
- **El aire atrapado:** es el que proviene durante el proceso de mezclado, de una colocación y compactaciones deficientes, este no trae ningún beneficio al concreto, por el contrario, disminuyen la resistencia del material, reducen las secciones efectivas de los elementos y dan mal aspecto al concreto a la vista. Este aire que lleva normalmente el concreto oscila entre 1-1.15% (10-15 litros por m³ de concreto).
- **Aire incluido (aire incorporado) intencionalmente con aditivos:** Finísimas burbujas de aire (diámetro 10-200 μm), estables y uniformemente distribuidas en la matriz de cemento, en la proporción de 3-6% (30-60 litros/m³) tienen estos efectos: en el concreto fresco, aumentan la trabajabilidad y cohesión y reducen la exudación y la densidad. En el concreto endurecido, aumentan la resistencia a hielo-deshielo (durabilidad) y aguas agresivas (reducción de la absorción), reducen la resistencia (3% por cada % de aire), excepto en concreto pobre. Es importante controlar el contenido de aire en concreto fresco.

2.2.11 Coque petrolero

Según Sabador (2009), el coque de petróleo es un subproducto que resulta de la pirolisis de las fracciones obtenidas en el refinado del petróleo, que pasa a través de un estado líquido cristalino (mesofase) durante el proceso de carbonización. Está constituido principalmente por carbono no granítico, pero grafitizable.

La mayor parte del coque de petróleo se produce como pedazos sólidos irregulares, cuyo tamaño abarca desde 20 pulgadas hasta polvo fino. Este coque se denomina esponjoso debido a su apariencia. Sus propiedades y composición dependen del material de procedencia y del proceso a partir del cual se obtuvo.

2.2.11.1 Características del Coque de Petrolero

Se caracteriza por tener bajo contenido de cenizas, ser insoluble en agua y físicamente duro, quebradizo, poroso y de color variable entre gris y negro. El coque es un material que presenta originalmente unas buenas condiciones derivadas de sus propiedades físicas: baja densidad (real y aparente), alta porosidad abierta y configuración en forma de granos

Sus propiedades y composición dependen del material de procedencia y del proceso a partir del cual se obtuvo. Sin embargo, la composición se mantiene dentro de los valores típicos que se muestran en la Tabla: No 2.

Tabla 2. Valores típicos de los componentes del coque

Componente	Intervalo
Carbono	84 - 97 % peso
Hidrógeno	5% peso (máx.)
Azufre	0,2 - 6 % peso
Vanadio	5 – 5000 ppm
Níquel	10 – 3000 ppm
Materia Volátil	2- 15 % peso

Fuente: Sabador (2009)

2.2.11.2 Clasificación y Usos del Coque de Petróleo

De acuerdo a Sabador (*ibídem*), el coque de petróleo se puede clasificar desde dos puntos de vista:

➤ **Según su proceso de obtención:**

El coque se clasifica en:

- ✓ **Coque Retardado:** es un subproducto del proceso de coquificación conocido como Coquificación Retardada. Se caracteriza por contener hasta 15 % de materia volátil, formada en mayor parte por cadenas de hidrocarburos.

- ✓ **Coque Fluidizado:** es un producto de la coquificación en lecho fluidizado. Esta forma de coque tiene un tamaño de grano menor a 6 mm y menos materia volátil que el coque retardado.
- ✓ **Flexicoque:** se obtiene del proceso de Flexicoquificación, en el que la mayor parte del coque es gasificado, generando un gas de bajo poder calorífico (flexigas), para el uso de la refinería. El Flexicoque es semejante al coque fluidizado, pero contiene aún menos materia volátil y tiene un tamaño de grano mucho más fino.
- **Según su aplicación:**

El coque se puede clasificar en cuatro (4) tipos o grados
- ✓ **Grado Combustible:** Este tipo de coque es el producido en mayor cantidad a escala mundial, se caracteriza por tener un contenido de azufre que oscila entre 3 a 6 % en peso y entre 300 a 600 ppm de metales (vanadio y níquel), además, es más fino y suave que los otros grados. Como su nombre lo indica, el coque que corresponde a esta clase se emplea como combustible doméstico e industrial, debido a su poder energético y poca formación de cenizas, más específicamente se usa en hornos de cal y cemento, así como también en calderas para la generación de energía eléctrica y vapor.
- ✓ **Esponja:** Se obtiene tras un proceso de calcinación. Este grado de coque tiene menos de 3 % en peso de azufre y su contenido de cenizas es inferior a 0,5 % en peso. Comúnmente es vendido a la industria del aluminio, la cual requiere alrededor de 0,5 kg de coque para producir 1 kg aluminio a partir de la bauxita. El coque grado esponja es considerado más valioso que el coque grado combustible.
- ✓ **Aguja:** Es el grado con mejor calidad, se produce a partir de cargas con alto contenido de aromáticos, tales como breas altamente aromáticas o aceites decantados, se caracteriza por su bajo contenido de azufre y metales. Su principal aplicación es en la industria

siderúrgica, donde es empleado en la fabricación de electrodos para hornos. Es importante mencionar que el coque que se utiliza para estos fines tiene estrictas restricciones en cuanto al coeficiente de expansión térmica, debido a que el electrodo estará sometido a las altas temperaturas, y al contenido de azufre, ya que favorece la formación de grietas que debilitan el electrodo.

- ✓ **Perdigón:** Consiste en pequeñas partículas muy duras, cuyo mercado es bastante limitado. No se conoce con claridad la causa de su formación, sin embargo, se ha encontrado que, si se incorpora a la alimentación alguna fracción aromática o se aumenta la recirculación, entonces se transforma en coque grado esponja. El coque grado perdigón se utiliza como catalizador en la producción de dióxido de titanio y en la industria del aluminio para la producción de ánodo.

Las aplicaciones industriales del coque de petróleo son diversas y su destino final depende de la calidad del tipo de coque obtenido. Se destaca su utilización en la producción de dióxido de titanio, refinado de metales especiales, agente carburante en acerías, fabricación de ánodos de carbono, fuente térmica en la industria cementera, reducción del óxido de hierro, entre otras.

2.2.12. Diseño de mezcla

Según Sánchez (2008), es un proceso que consiste en la selección de los ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua, y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente como se pueda producir, sin embargo debe de recordarse que al diseñar una mezcla puede llegar a ser muy complejo si considera un gran número de variables y una gran precisión o exactitud en la expresión de sus relaciones, pero debe al mismo tiempo, ser de fácil manejo y operatividad. Lo acertado es lograr un equilibrio entre ambos extremos.

Por otro lado, Porrero y Grases (2009), definen que el diseño de mezcla se conoce como el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades necesarias de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en estado endurecido.

Existen numerosos métodos para diseñar mezclas, los cuales pueden asemejarse o pueden diferir entre ellos profundamente, de acuerdo con las variables involucradas y las relaciones establecidas; esto indica que ninguno de ellos es perfecto. De acuerdo con las condiciones reales de los materiales y de la tecnología del concreto, pueden ser preferidos unos u otros.

Inevitablemente, los diseños de mezcla tienen cierto grado de incertidumbre debido a que las variables condicionantes de la calidad y el comportamiento del concreto son numerosos y difíciles de precisar. Los posibles ajustes para dar mayor exactitud a las proporciones de los componentes solo pueden conseguirse mediante 'mezclas de prueba', tanto de laboratorio como de obra.

En tal sentido, para el desarrollo de la parte experimental, el diseño de mezcla juega un papel importante porque de ello depende la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados al concreto, Los métodos descritos proporcionan una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo y efectuar los ajustes que sean necesarios con el objetivo de lograr las características deseadas en el concreto fresco y endurecido

Para lograr tal objetivo una mezcla de concreto deberá poseer las siguientes propiedades:

- ✓ En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.

- ✓ En el concreto endurecido, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia
- ✓ Economía

Entre los métodos más conocidos tenemos el Método ACI y el método de Porrero y Grases.

De acuerdo al documento del Método ACI 211.1-81 resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son

1. Elección del revenimiento
2. Elección del tamaño máximo de agregado
3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
4. Selección de la relación agua-cemento
5. Cálculo del contenido de cemento
6. Estimación del contenido de agregado grueso
7. Estimación del contenido de agregado fino
8. Ajuste por humedad del agregado
9. Ajustes en las mezclas de prueba

De igual manera en el manual de concreto estructural Porrero y Grases (2009), describen que para diseñar mezclas de concreto se deben de tener cierta información tal como:

- ✓ Análisis granulométrico de los agregados
- ✓ Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso)
- ✓ Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- ✓ Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- ✓ Perfil y textura de los agregados
- ✓ Tipo y marca del cemento
- ✓ Peso específico del cemento
- ✓ Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

2.2.13. Método de Diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985)

El método American Concrete Institute (A.C.I), es el más conocido y ampliamente usado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams, el cual consiste en conseguir en forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y volumen, para 1m^3 de concreto.

El procedimiento descrito en ACI 211.1-81 detalla 2 métodos de proporcionar mezclas de concreto de peso normal y denso que son:

- ✓ Basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario.
- ✓ Basado en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto

Este método da una gran aproximación de las proporciones de los ingredientes para diseño de mezclas, con agregados de densidad normal y para una trabajabilidad adecuada, es decir; que cumplan las normas correspondientes, hecho que no siempre se da en este medio, ya que los agregados utilizados no se encuentran completamente limpios; ni tampoco se cuenta con unas granulometrías correctas. Es por esta causa que en general el método ACI, da mezclas más secas de lo previsto y pedregosas, pero afortunadamente existen correcciones, las cuales no sólo son de agua, sino también de agregados.

Este método tiene una gran limitación, y es que no distingue las distintas formas en las que se presentan los agregados. Una de las alternativas para la corrección de “slump” (asentamiento) es:

- ✓ Corregir la cantidad de agua, pero al tratar de conservar la misma relación agua/cemento involucra que la cantidad de agregado grueso se mantenga constante y en algunos casos ya se obtiene mucha piedra.

- ✓ Modificar la cantidad de agregado grueso; es decir, disminuir la cantidad de agregado grueso en un rango de 5% a 10% y compensar con la cantidad de arena.

Como sucede con cualquier método de diseño, es necesario hacer mezclas de prueba, para obtener al final la mezcla más adecuada para los fines propuestos, la cual será siempre la de mayor durabilidad con el menor consumo de cemento.

2.2.13.1 Procedimiento a seguir en el diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985).

A continuación, se presenta el procedimiento a seguir para la aplicación del método:

➤ **Paso N° 1: Calcular la resistencia promedio requerida.**

Está en función de f'_c (resistencia a la compresión a utilizar). La resistencia promedio requerida se calcula de tres formas distintas:

- a) Cuando conocemos la desviación estándar:

$$F'_{cr} = F'_c + 1,33 \times S \quad \text{Ec. (2)}$$

$$F'_{cr} = F'_c + 2,33 \times S \quad \text{Ec. (3)}$$

$$S = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N xi-x^2}{N-1}}}{N-1} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

X_i = Valores de resistencia obtenidos en probetas estándar

x = Promedio de valores de resistencia obtenidos en probetas estándar.

- b) Cuando no hay registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores de acuerdo a la Tabla: N° 3.

Tabla 3. Valores de F'_{cr} de acuerdo a F'_c

F'_c	F'_{cr}
Menos de 210	F'_c+70
210 -350	F'_c+84
>350	F'_c+98

Fuente: ACI 211.1-81. (1985)

Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----

Fuente: ACI 211.1-81.8 (1985)

➤ **Paso Nº 4: La relación agua cemento.**

Se conoce como relación agua/cemento (A/C) a la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso de cemento, de acuerdo al método ACI se escoge de acuerdo a los valores indicados en la Tabla: Nº 7 relación agua / cemento por resistencia.

Si se mantienen constantes las cantidades de agregado seco en una determinada proporción de concreto, se observa que a medida que la relación agua/cemento (A/C) se incrementa, esto conlleva una disminución en la resistencia del concreto.

Por eso es importante tener un adecuado balance de dicha relación, de forma que permita que, para una determinada cantidad de cemento fija en la mezcla, se disponga de la suficiente cantidad de agua que permita una adecuada colocación del concreto y lograr la resistencia especificada ($F'c$).

Tabla 7. Relación agua / cemento por resistencia

Relación agua / cemento en peso		
$F'c$ (kg/cm ²)	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Fuente: ACI 211.1-81 (1985)

➤ **Paso Nº 5: El contenido de cemento.**

Este se determina dividiendo el volumen unitario de agua entre la relación agua-cemento. No obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

$$c = \frac{a}{a/c}$$

Ec. (5)

$$\text{Factor } C = \frac{c}{42.5}$$

Donde:

c= dosis de cemento en kilogramos fuerza (kgf).

a= cantidad de agua en litros (l) o en kilogramos fuerza (kgf).

a/c= relación agua/cemento.

➤ **Paso N° 5.1: volumen cemento**

El volumen absoluto del cemento, se obtiene al dividir el peso del cemento entre su peso específico. Debido a que el peso específico sus valores varían por lo que este método recomienda utilizar un valor estándar para el cálculo en la práctica se recomienda multiplicar el peso del cemento por 0.29 tal cual como se indica en la Ec 5.2.

$$V_c = c \times 0.29$$

Ec 5.2.

➤ **Paso N° 6: Determinación de Agregado Grueso.**

Se determina el contenido de agregado grueso como se muestra en la Tabla: N° 8, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La misma permite obtener un coeficiente b_{b_0} , resultante de la división del peso seco del agregado grueso

entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso, expresado en kg m^3 .

Tabla 8. Volumen de agregado grueso para un volumen unitario de concreto

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO (*) POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO, PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DEL AGREGADO FINO.			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm.	Pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
10	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
20	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
40	1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
50	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
70	3"	0,81	0,79	0,77	0,75
150	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211.1-81 (1985)

(*) Los volúmenes de agregado grueso mostrados, están en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales. Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aproximadamente. Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%.

Una vez obtenido b b_0 , se procede al cálculo de la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico (m^3) de concreto, de la siguiente manera:

$$PS = \frac{b}{b_0} \times (PUC \text{ del Agregado grueso}) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

PS= Peso seco del agregado grueso $kg\ m^3$

PUC= Peso unitario compactado

➤ **Paso N° 7: Volumen absoluto de los agregados**

El volumen del agregado grueso se calcula de la siguiente manera:

$$VAG = \frac{PS}{\text{Peso específico del A. grueso}}$$

Ec. (7)

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos.

$$VF = 1000 - (VA + VAI + VC + VAG)$$

Ec. (8)

Donde:

PS= Peso seco del agregado grueso $kg\ m^3$

VAG= Volumen de agregado grueso m^3

VAF= Volumen de agregado fino m^3

VA= Volumen agua m^3

VAI= Volumen del aire m^3

VC= Volumen del cemento m^3

VAG= Volumen del agregado grueso m^3

Mientras que el peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por el peso sólido. Por consiguiente, el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso a. fino} = VAF * (\text{Peso específico del agregado fino})$$

Ec. (9)

2.2.13.1 Corrección por humedad en el diseño de mezcla propuesto por el ACI 211.1-81 (REVISADA 1985).

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cubica del concreto debe ser corregida en función de las condiciones de humedad de los agregados finos y gruesos, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra.

a) Determinación de pesos húmedos

$$\text{Peso A. Fino Húmedo } kg = \text{Peso A. fino seco} * \left(1 + \frac{\% \omega f}{100}\right)$$

Ec. (10)

$$\text{Peso A. Grueso Húmedo } kg = \text{Peso A. Grueso seco} * \left(1 + \frac{\% \omega g}{100}\right)$$

Ec. (11)

Donde:

%Wg: Contenido de humedad del agregado grueso

%Wf: Contenido de humedad del agregado fino

%ag: Porcentaje de absorción del agregado grueso

%af: Porcentaje de absorción del agregado fino

b) Aporte de humedad

$$X = \text{A. H Agregado grueso } \frac{lt}{m^3} = \text{Peso de A. grueso seco} \times \frac{\% \omega g - \% a g}{100}$$

Ec. (12)

$$Y = \text{A. H Agregado Fino } \frac{lt}{m^3} = \text{Peso de A. Fino seco} \times \frac{\% \omega f - \% a f}{100}$$

Ec. (13)

c) Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva } \frac{lt}{m^3} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

Ec. (14)

d) Determinación de la proporción en peso de diseño

$$\frac{\text{Peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Peso A.Fino Humedo}}{\text{peso del cemento}} : \frac{\text{Peso A.grueso humedo}}{\text{peso cemento}} / \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{factor C}} \frac{\text{lt}}{\text{bolsa}}$$

Ec. (15)

2.2.14 Método de diseño de mezcla propuesto por Joaquín Porrero y Grases

Este método ha sido probado en laboratorios y en plantas de preparación comercial de concreto, con excelentes resultados, y ha sido concebido independientemente del resto del procedimiento, lo que permite cambiar dicha proporción (relación β), sin alterar la dosis de los restantes componentes, así como estudiar comparativamente las posibilidades de uso de diferentes agregados. Porrero y Grases (2009). Pág. 123.

Por otra parte, el método considera, un grupo de variables que constituyen su esqueleto fundamental: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia, las cuales se vinculan a través de dos leyes básicas: La Relación triangular y la Ley de Abrams. Donde la primera establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, mientras que la segunda asocia la trabajabilidad (T), y la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C).

Una de las ventajas de este método es que no impone limitaciones a la granulometría ni a la combinación de agregados; la combinación de agregados puede ser variada a voluntad, a fin de alcanzar el objetivo propuesto, que en la mayoría de los casos es máxima compacidad y Economía.

Es importante destacar que este método es especialmente válido para concretos con asentamientos en el Cono de Abrams, entre 2.5 cm (1") y 15 cm (6"), y con resistencias a la compresión entre 180 y 430 Kg/cm² a los 28 días; para mezclas con asentamiento nulo o para concretos ultrarresistentes, o llamados concretos pobres, habrá que acudir a procedimientos particulares.

2.2.14.1 Procedimiento a seguir en el diseño de mezcla propuesto

El método propuesto por Porrero Joaquín Porrero y Grases se plantea de la siguiente manera:

➤ **Paso N°1: Relación Beta.**

Porrero y Grases. (2009), explica que cuando se trata de los agregados, finos y gruesos, la relación de combinación entre ellos se expresa como el cociente entero entre el fino y el agregado total, sumando el grueso y el fino.

Al obtener el agregado combinado se simboliza como beta y se expresa en tanto por uno, o en tanto por ciento.

$$\beta = \frac{A}{A + G} \times 100$$

Ec. (17)

Donde:

A y G son los pesos de la arena y del agregado grueso respectivamente.

Este método, señala que la mezcla está constituida por la combinación de un determinado agregado fino, y un determinado agregado grueso, cada uno de ellos con su respectiva granulometría conocida previamente.

Para que las mezclas cumplan con ciertos parámetros de calidad y economía, los agregados deberán estar dentro de los límites indicados en la tabla N° 1, que constituirán la “zona granulométrica”, de acuerdo con los tamaños máximos correspondientes.

Para la determinación de β , se siguen los siguientes pasos estipulados en el método que expone el Manual de Concreto Estructural el cual se refleja gráficamente en la figura 2.

- ✓ Se trazan dos líneas que se gradúan ambas igualmente, de 0 a 100. Estas se constituyen en ejes con escalas para representar

las granulometrías como porcentajes pasantes: uno para el grueso (G) y otro para el fino (A)

- ✓ Sobre la escala de gruesos (G) se marcan los puntos correspondientes a los porcentajes pasantes del agregado grueso en cada cedazo. Se realiza de la misma manera para el agregado fino (A)
- ✓ Se traza una línea horizontal que una los extremos superiores de las líneas A y G, y se gradúa del 0 al 100 partiendo del eje del grueso.
- ✓ Se unen mediante rectas individuales los puntos de cada cedazo de igual denominación para A y G.
- ✓ Sobre cada una de las rectas se debe marcar el límite correspondiente indicado en la tabla anterior.
- ✓ Los cedazos más críticos, respecto a los límites serían los que condicionaran las posibilidades del conjunto, al señalar los valores extremos se podría escoger un β que este dentro de los límites.

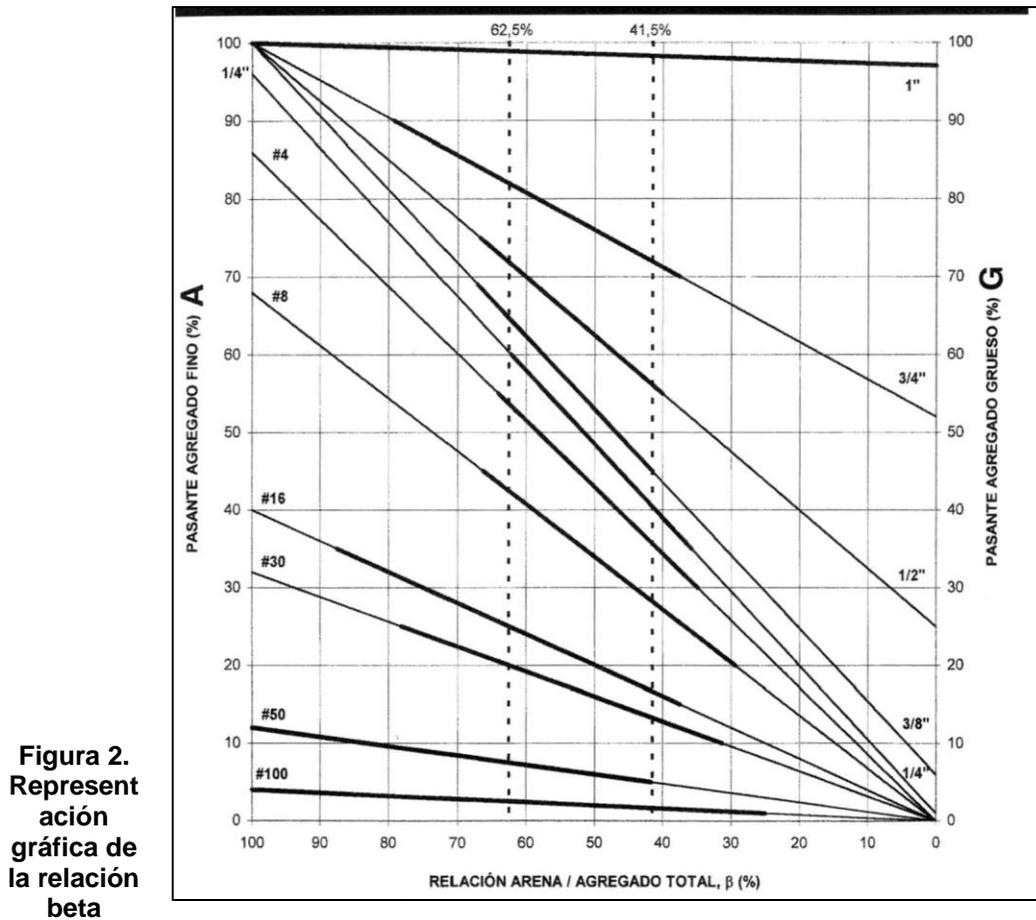


Figura 2.
Representación
gráfica de
la relación
beta

Fuente: Manual de Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

➤ **Paso N° 2: Resistencia Promedio Requerida F'_{cr} .**

De acuerdo con Porrero y Grases. (2009). La resistencia promedio requerida, o mejor conocida como “resistencia del diseño de mezcla”, no es otra que la resistencia media esperada para el material a ser elaborado.

Según la Norma COVENIN 1753-2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”, El concreto se dosificará para asegurar una

resistencia promedio a la compresión, F'_{cr} , que exceda la resistencia especificada en el proyecto, f'_c .

La diferencia entre F'_{cr} y F'_c , es función de la desviación estándar según se define en el manual de concreto estructural. La Norma COVENIN 1753, diferencia dos circunstancias:

- 1) Cuando la desviación estándar es conocida;
- 2) Cuando no lo es.

Desviación Estándar, σ Conocida

De acuerdo con la Subsección 5.4.1.1 de la Norma COVENIN 1753, se acepta que la planta de producción de concreto tiene un registro aceptable de ensayos para calcular la desviación estándar, cuando sea representativa de las siguientes variables:

- ✓ De materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a las que se esperan en obra, con cambios en los materiales y en las dosificaciones, tan amplios en los registros de ensayo, como aquellos que se esperan en la obra a construir;
- ✓ De un concreto cuya resistencia F'_c este dentro de límite de ± 70 kg/cm^2 de la que se especifica para la obra a construirse;
- ✓ De por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

En este caso, de acuerdo con la Sección 5.4.2.1 de la Norma COVENIN 1753, la resistencia promedio requerida F'_{cr} a utilizar como base para seleccionar la dosificación del concreto, será la mayor de las calculadas por:

$$F'_{cr} = F'_c + 1,34\sigma \quad \text{Ec. (18)}$$

$$F'_{cr} = F'_c + 2,34\sigma - 35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$F'_{cr} = 0,9 F'_c + 2,34\sigma \quad \text{Ec. (20)}$$

Las ecuaciones 18 y 19 para $F'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$ o;

Las ecuaciones 18 y 20 para $F'c > 350 \text{ kgf/cm}^2$.

Donde:

F'c: es la resistencia a compresión especificada en el proyecto

σ : es la Desviación estándar.

De la Norma COVENIN 1753, describe que para aquellos casos donde se dispongas registros de ensayos de 15 a 29 se puede establecer la desviación estándar a emplear para el cálculo de la resistencia promedio requerida, multiplicando la desviación estándar del registro de 15 a 29 ensayos consecutivos por el factor de modificación de la Tabla N^o 9.

Tabla 9. Factores de modificación para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos consecutivos

Números de ensayos ^(*)	Factor de modificación
<15	Usar la tabla 10
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥30	1,00

Fuente: Manual del Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

^(*) Interpólese para valores intermedios del número de ensayos, cuando este exceda 15

Desviación Estándar, σ , no Conocida

Por no disponer de un registro de ensayos que permita calcularla, podrá realizarse una estimación del sumando $Z\sigma$ que debe añadirse a $F'c$ para obtener $F'cr$, en función del grado de control que se tenga previsto realizar en obra y del nivel de resistencias. En la Tabla N^o 10 se presenta tal estimación.

Tabla 10. Resistencia promedio a la compresión requerida, $F'cr$ cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar

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 ^(*)	Fc+45	Fc+80	Fc+130
De 210 a 350	Fc+60	Fc+95	Fc+170
Más de 350	Fc+75	Fc+110	Fc+210

Fuente: Manual del Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

(*) En áreas sísmicas F'c no será menor de 210 (kgf/cm²)

Cuando no se dispone de suficiente información para fundamentar el diseño de mezclas en la desviación estándar, en la Norma COVENIN 1753 se autoriza la dosificación del concreto con base en los límites de la relación agua/cemento especificados en la tabla N^o 11.

Tabla 11. Relación agua/ cemento máximo permisible cuando no existen datos de ensayos de resistencia o experiencia en obra

Resistencia especificada a la compresión F'c (kgf/cm ²) ⁽²⁾	Relación agua / cemento por peso ⁽¹⁾	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150 ⁽³⁾	0.62	0.51
210	0.52	0.42
250	0.44	0.34
300	0.37	(4)
350	(4)	(4)

Fuente: Manual del Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

⁽¹⁾ Interpólese para valores intermedios de resistencia especificada.

⁽²⁾ Resistencia especificada del concreto a la compresión a los 28 días. Para la mayoría de los materiales, las relaciones agua/cemento dadas proporcionan resistencias promedio mayores que las indicadas en esta tabla.

⁽³⁾ En zonas sísmicas no se permiten concretos con resistencias inferiores a 210 (kgf/cm²)

⁽⁴⁾ la dosificación de concretos con resistencias mayores que 300 kgf/cm² sin aire incorporado o mayores que 250 kgf/cm² con aire incorporado, debe verificar otras especificaciones.

Los valores de la tabla son válidos para concretos elaborados con cementos que cumplan con la normativa vigente y son serán aplicados en concretos livianos y con aditivos diferentes a los incorporadores de aire.

✓ Paso 3. Ley de Abrams

Esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento (&) en peso (Porrero y Grases, 2009, p.135).

$$\alpha = \frac{a}{c}$$

(Ec.21)

Donde:

a: cantidad de agua en litros (l) o en kilogramos fuerza (kgf);

c: dosis de cemento en kilogramos fuerza (kgf).

Esta ley se representa mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{M}{N^\alpha}$$

(Ec.22)

Donde:

R : Representa la resistencia media esperada,

M y N son constantes que dependen de las características de los materiales que componen la mezcla y la edad de ensayo.

Tomando logaritmos en la fórmula anterior, se tiene:

$$\mathbf{Log R = \log M - \alpha \log N,}$$

(Ec.23)

Cuya expresión es de una recta y sus valores de origen y pendiente ($\log M$ y $-\log N$, respectivamente) van a depender de las características de los agregados. Al realizar un amplio número de ensayos a mezclas con agregado grueso triturado (25,4 mm de tamaño máximo), arena natural y cemento Portland Tipo I, se obtienen las siguientes expresiones:

$$R_7 = 861,3 / 13,1''$$

(Ec.23.1)

$$R_{28} = 902,5 / 8,69''$$

(Ec.23.2)

$$R_{90} = 973,1 / 7,71''$$

(Ec.23.3)

Los subíndices indican la edad de ensayo (7, 28 y 90 días respectivamente), y la resistencia media R es la de compresión, determinada en probeta cilíndrica de 15 x 30 cm, expresada en kgf/cm^2 . Para el diseño de mezcla de despeja α en función de R . Estas relaciones se expresan gráficamente en la Figura 3.

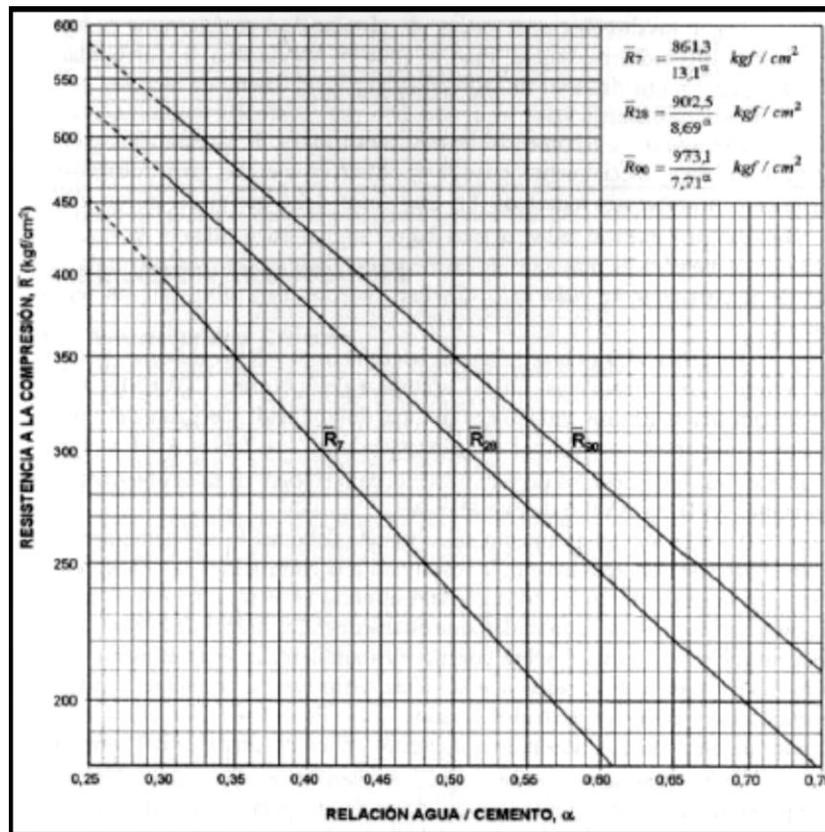


Figura 3. Representación Gráfica de la Ley de Abrams
Fuente: Manual de Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

✓ Paso 4. Relación triangular

Esta relación asocia la trabajabilidad (T), determinada mediante el cono de Abrams, con dos parámetros importantes en el diseño de mezcla como es la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C), (Porrero y Grases, 2009, p.135), tal cual como se aprecia en la Figura 4 y en la tabla 12 se puede apreciar los valores usuales de asentamiento.

Esta relación se representa a través de la siguiente expresión:

$$C = k * \frac{T^n}{\alpha^m}$$

(Ec.24)

Donde:

C: dosis de cemento (kgf/m^3);

α : a/C: relación agua/cemento en peso;

T: asentamiento en el Cono de Abrams (cm);

k, m, n: constantes que dependen de las características de los componentes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora.

Tomando logaritmos en la fórmula anterior:

$$\text{Log } C = \text{log } k + n \text{ log } T - m \text{ log } a$$

Ec. (25)

En donde T se expresa en centímetros y C en kgf/m^3 . Las variables α y T pueden despejarse de la fórmula cuando sean incógnitas.

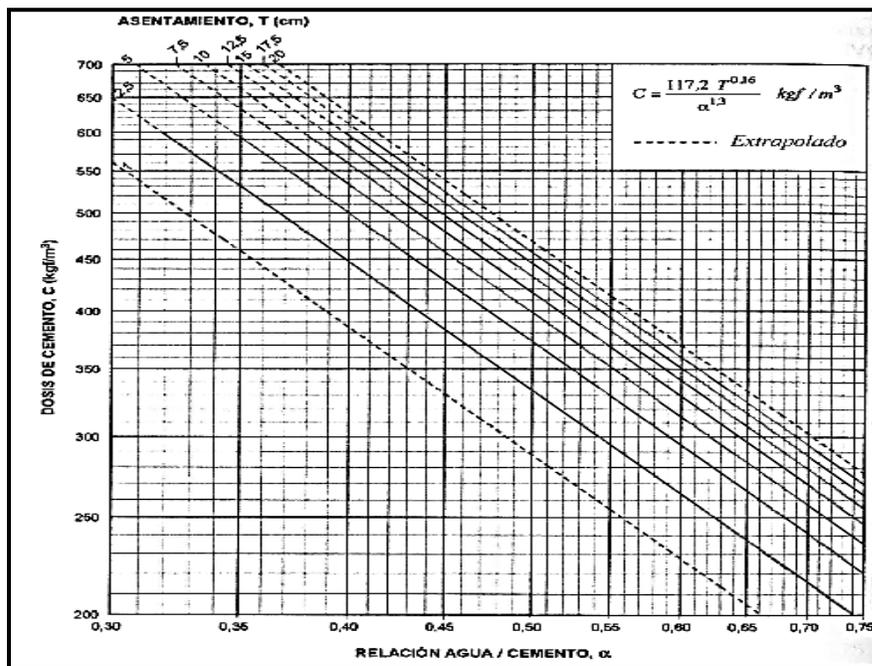


Figura 4. Relación entre la trabajabilidad (T), el contenido de Cemento (C) y la relación agua/cemento.

Fuente: Manual del Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

La expresión (24) está representada en la Figura 4, que puede usarse como gráfico para el diseño, a fin de obtener la dosis de cemento requerida.

La entrada se hace con el valor de α , el valor T, conocido por experiencia o seleccionado con los valores guía de la Tabla (12). Mientras más bajo sea el valor T seleccionado, menos cemento requerirá la mezcla y mayor dificultad habrá para manejarla y compactarla. La misma figura también puede utilizarse para simular cambios en los valores de una o dos de las variables y cuantificar el efecto en las restantes.

✓ **Trabajabilidad**

Según Porrero y Grases, (2009), da el término trabajabilidad, con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa a el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra designación es específica para designar el término asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams.

Esta segunda aceptación es discutible porque, en realidad, el ensayo no es representativo del conjunto de propiedades referidas.

El método del Cono de Abrams, para determinar el asentamiento de la mezcla, tiene en la actualidad una amplia aplicación, en el entendido de que, si no revela específicamente ciertas propiedades reológicas de la mezcla, el uso de la información que ofrece permite la toma de decisiones acertadas.

Tabla 12. Valores usuales de asentamiento con el Cono de Abrams

ELEMENTO	RANGOS DE ASENTAMIENTO (cm)
Prefabricados	Nulo – 6
Fundaciones ciclópeas	3 – 8
Pedestales, muros de fundación armados	4 – 8
Pavimentos	5 – 8
Losas, vigas, columnas, muros de corte	6 – 11
Paredes estructurales delgadas	10 – 18
Transportado por bombeo	6 – 18
Autonivelante	Mayor de 18

Fuente: Manual del Concreto Estructural; Porrero y Grases (2009)

✓ **Paso 5. Cálculo de los restantes Componentes.**

Porrero, J. (2009) Señala que, para el cálculo de las dosis de agregado, se parte del principio de que los volúmenes absolutos de todos los

componentes de la mezcla deben completar un metro cubico, es decir, mil litros, para lo cual hay que determinar los volúmenes absolutos de todos los componentes.

✓ **Volumen de Aire Atrapado**

Aun cuando la mezcla sea bien compactada, siempre queda un volumen de aire, que se denomina atrapado, este aire atrapado se determina mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{C}{P}$$

Ec. (26)

Donde:

C = dosis de cemento expresada en Kg/m³

P = Tamaño Máximo

✓ **Volumen absoluto de los granos de cemento**

El volumen absoluto del cemento, sin considerar aire entre los granos se obtiene al dividir el peso del cemento entre su peso específico. Según los laboratorios el peso específico viene dado de 3,12 a 3,15 pero a efectos de la mezcla del concreto en el seno del agua, debe considerarse un valor más alto de 3,25 a 3,35. Para el cálculo en la práctica se recomienda multiplicar el peso del cemento por 0.29.

✓ **Volumen Absoluto de Agua**

El peso total del agua presente en la mezcla viene dado por:

$$a = C * \alpha$$

Ec. (27)

Donde:

C = Dosis de cemento

α = Relación agua cemento

✓ **Volumen Absoluto de Agregados**

Para determinar los pesos de los agregados finos y gruesos, se utilizó la expresión de la relación de β

$$A = \beta (A + G) \quad \text{Ec. (28)}$$

$$G = (1 - \beta) (A + G) \quad \text{Ec. (29)}$$

Para el cálculo del volumen absoluto de los agregados, se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_{A+G} = \frac{A + G}{\gamma_{A+G}} \quad \text{Ec. (30)}$$

✓ **Ecuación de volumen y cálculo de dosis de agregados**

Para preparar un metro cúbico de mezcla, la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes debe ser igual a 1000 litros; entonces:

$$V_c + V_a + V_{A+G} = 1000 \text{ litros} \quad \text{Ec. (31)}$$

Donde:

$V_{(A+G)}$ = Volumen total de agregados, finos y gruesos.

V_c = Volumen de concreto

V_a = Volumen de Agua

V = Volumen de Aire atrapado.

2.2.14.2 Corrección por humedad en el diseño de mezcla por Porrero Joaquín Porrero y Grases

En las distintas fases del método de diseño expuesto se ha considerado que el grado de humedad de los agregados se encontraba en la condición ideal de saturados con superficie seca, en la cual el material no cede ni toma agua de la mezcla.

En la práctica esa condición no se da, pues los agregados pueden estar en cualquier condición de humedad. A los fines de mantener las proporciones reales del diseño, lo anterior debe ser tornado en consideración en cuanto al peso de los agregados y a la cantidad de agua de mezcla a utilizar.

La capacidad de absorción de agua (A_b) del agregado, desde su estado de seco al horno hasta el de saturado con superficie seca (G_{sss}), se expresa como un porcentaje referido al material seco. En igual forma con el agregado húmedo (G_w). Por consiguiente, puede establecerse la siguiente relación:

$$G_{sss} = G_w (100 + A_b) / (100 + w)$$

Ec. (32)

Donde:

G_{sss} = peso del agregado saturado con superficie seca

G_w = peso del material húmedo

w = humedad del agregado.

De aquí se puede despejar cualquiera de los dos pesos que podrá, por tanto, calcularse en función del otro, y de la humedad y la absorción del material; este planteamiento es válido para cualquier agregado, grueso o fino. La cantidad de agua que será añadida a la mezcla deberá corregirse en consecuencia.

$$a_m = a_D + A_{sss} - A_w + G_{sss} - G_w$$

Ec. (33)

Donde:

a_m = cantidad de agua a usar en la mezcla

a_D = dosis de agua calculada en el diseño de mezcla

A_{sss} , G_{sss} = dosis de agregados (arena y grueso) supuestos saturados con superficie seca

A_w, G_w = pesos de los agregados en cualquier condición de humedad (w%).

2.2.15. Determinación del contenido de humedad según norma COVENIN 1375-79

El contenido de humedad no es más que el contenido de agua de un material expresado en porcentaje.

Según la norma COVENIN 1375-79 este ensayo contempla determinar mediante secado el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, así como también la humedad superficial. Este método es suficientemente exacto para ser utilizado en el ajuste de los pesos en mezclas de concreto y fines similares.

2.2.15.1 Procedimiento

- a) Se pasa la muestra con una aproximación de 0,1% del peso de la misma, evitando en lo posible la pérdida de humedad.
- b) Se coloca la muestra en el envase y se seca utilizando la de calor, evitando la pérdida de partículas del agregado. La muestra está totalmente seca cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es inferior al 0,1% del peso de la muestra.
- c) Se deja enfriar la muestra lo suficiente para no dañar la balanza y luego se pesa con aproximación de 0,1%

2.2.15.2 Expresión de resultados de la determinación del contenido de humedad según norma COVENIN 1375-79

El contenido total de humedad se calcula por la siguiente fórmula:

$$H = 100 \frac{W_o - W_s}{W_s}$$

Ec. (34)

Donde:

H= Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje

W_o = Peso de la muestra original, en gramos.

W_s = Peso de la muestra seca, en gramos.

2.2.16 Determinación del contenido de humedad del coque según norma COVENIN 2508-88

Esta norma venezolana especifica el método para determinar el contenido de humedad total en el coque. El porcentaje de humedad contenido se calcula a partir de la pérdida de masa de la muestra.

2.2.16.1 Procedimiento

- a) Se pesan la muestra y el recipiente como son recibidos con aproximación de 0,1%, se pesa la bandeja vacía y se seca, se transfiere la muestra lo más completa posible a la bandeja y se esparce parejamente.
- b) Se coloca la bandeja cargada en el horno a una temperatura de 200°C.
- c) Se seca el recipiente húmedo con cualquier partícula adherida a él por medio de calentamiento, se transfiere la muestra remanente a la bandeja y se pesa el recipiente vacío y seco.
- d) Se calienta la bandeja y su contenido hasta que se obtenga masa constante, se pesa la bandeja caliente para evitar absorción de humedad durante el enfriamiento.

2.2.16.2 Expresión de resultados

El contenido de humedad de coque (H), como es analizado, expresado como un porcentaje en masa es dado por la fórmula:

$$H = \frac{m_1 - m_4 - m_3 - m_2}{m_1 - m_4} \times 100$$

Ec. (35)

Donde:

H= Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje

$m_{1=}$ es la masa del recipiente más la muestra, tal como es recibido, en gramos.

$m_{2=}$ es la masa de la bandeja vacía y seca, en gramos.

$m_{3=}$ es la masa de la bandeja, más la muestra después del calentamiento, en gramos.

$m_{4=}$ es la masa del recipiente vacío y seco, en gramos.

2.2.17. Determinación del peso unitario del agregado según norma COVENIN 263-78

Esta norma contempla el método de ensayo para determinar el peso unitario de agregados finos, gruesos o mezclados.

El peso unitario del agregado, está definido como el peso de la muestra, sobre su volumen, este peso es aquel que se toma como volumen de referencia. Existen dos clases: el suelto, el cual se determina al dejar caer libremente el agregado dentro del recipiente, y el compacto: el material se compacta de modo similar a como se hace con el concreto.

2.2.17.1 Procedimiento del peso unitario compacto utilizando la barra compactadora.

- a) Se toma la muestra necesaria para el ensayo. Se llena la tercera parte del recipiente y se nivela la superficie con la mano. Se compacta la masa con la barra compactadora, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena hasta las dos terceras partes del recipiente y de nuevo se compacta con 25 golpes. Luego se llena el recipiente hasta rebosar, golpeándolo 25 veces con la barra compactadora.
- b) Se nivela con la mano la superficie del agregado o con un rasero de modo que las partes sobresalientes de las piezas mayores del agregado grueso, compensen aproximadamente los vacíos mayores en la superficie que se halla por debajo de la parte superior del recipiente.

- c) Se compacta la primera capa, procurando que la barra no golpee el fondo con fuerza. Al compactar las últimas dos capas, solo se emplea la fuerza suficiente para que la barra compactadora penetre la última capa de agregado colocada en el recipiente tal como se muestra en la figura 5.
- d) Se calcula el peso neto del agregado en el recipiente, con exactitud de 0,1%.
- e) Se calcula el peso unitario compacto de acuerdo a la fórmula correspondiente.

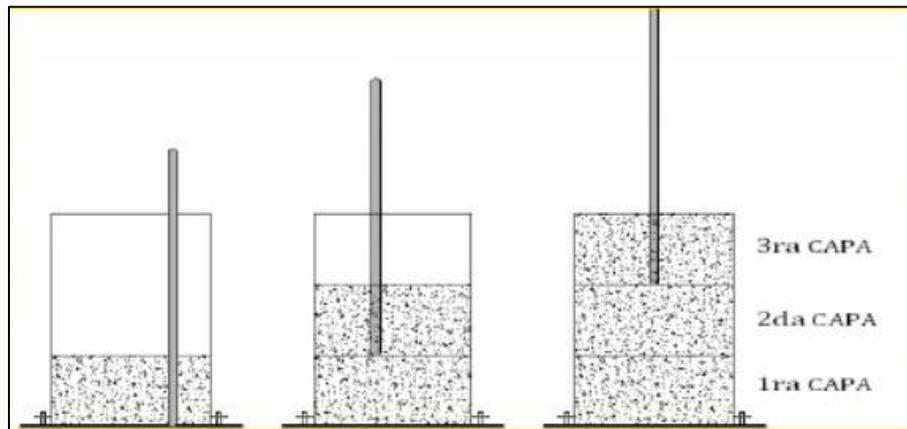


Figura 5. Peso unitario compacto
Fuente: Torres Ana (2004)

2.2.17.2 Procedimiento del peso unitario suelto con pala

- a) Se toma la muestra indicada para el ensayo, se llena el recipiente con una pala hasta rebosar, y se descarga el agregado desde una altura no mayor de 5 cm, por encima de la parte superior del recipiente. Se deben tomar precauciones para impedir en lo posible la segregación de las partículas. El agregado sobrante se desecha con la reglilla.
- b) Se calcula el peso neto del agregado en el recipiente, con exactitud de 0,1%.
- c) Se calcula el peso unitario compacto de acuerdo a la fórmula correspondiente.

2.2.17.3 Expresión de resultados

Este estará expresado por la siguiente fórmula:

$$P.A = \text{Peso de muestra} + \text{molde} - \text{Peso de Molde}$$

Ec. (36)

$$P.U.S = \frac{P.A}{V.M}$$

Ec. (37)

$$P.U.C = \frac{P.A}{V.M}$$

Ec. (38)

Donde:

P.U.S= peso unitario suelto

P.U.C= peso unitario compacto

P.A= peso de agregado

V.M= volumen del molde

2.2.18. Determinación del peso específico y la absorción del agregado fino según COVENIN 268:1998 y la COVENIN 269:1998 para agregado grueso

El peso específico es la masa de un cuerpo dividido entre su volumen. Los materiales granulométricos tienen dos tipos de peso específico: el aparente, que es el peso de un conjunto de agregados dividido entre su volumen incluyendo los espacios vacíos entre granos, y el absoluto: peso de un grano dividido entre su volumen. El peso específico de los agregados, que se expresa también como densidad en el sistema Internacional de Unidades.

De acuerdo a los tipos de agregados se encuentran partículas que tienen poros saturables como no saturables que dependiendo de su permeabilidad pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, generando así una serie de estados de humedad y peso

específico. En el diseño de mezcla el peso específico aparente de los agregados es el factor más importante porque con el podemos determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de concreto.

Esta norma venezolana contempla el método de ensayo para determinar el peso específico aparente, el peso específico aparente con muestra saturada y de superficie seca (peso específico aparente sss), el peso específico nominal (todas a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) y la absorción (después de 24 horas en agua) del agregado fino.

2.2.18.1 Procedimiento para agregado fino según COVENIN 268:1998

- a) Se llena el picnómetro parcialmente con agua. Inmediatamente se introduce el mismo una muestra de (500 ± 10) g del agregado fino saturado y de superficie seca, se añade agua gradualmente en un 50%, luego completando a 75% y finalmente hasta el 100%, agitando la muestra del picnómetro e invirtiéndolo si es preciso, hasta que no observan las burbujas de aire.
- b) Se ajusta la temperatura hasta $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ y si es necesario se sumerge en agua en circulación y se lleva el nivel de agua en el picnómetro hasta su capacidad de calibración.
- c) Se determina la masa total del picnómetro con la muestra y el agua, como alternativa se puede determinar volumétricamente la cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro, mediante una bureta de apreciación de 0,15 ml.
- d) El agregado fino se saca del picnómetro y se seca hasta masa constante, a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C . Se deja a temperatura ambiente por un tiempo de 30 min a 90 min y se pesa.
- e) Se determina la masa del picnómetro lleno con agua hasta su capacidad de calibración, a una temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

- f) Se extrae el agregado fino del picnómetro, se seca hasta obtener una masa constante a una temperatura de (110 ± 5) °C, se enfría al aire a una temperatura ambiente por $(1 \pm 1/2)$ h, y se determina su masa.
- g) Para la determinación de la absorción, se necesita una porción de muestra separada de (500 ± 10) g del agregado fino saturado y de superficie seca, se seca hasta obtener una masa constante y se determina otra vez su masa.

2.2.18.2 Procedimiento para agregado grueso según COVENIN 269:1998

- a) Se obtiene la masa de la muestra bajo la condición de saturada y de superficie seca, y se determina esta y todas las demás masas con aproximación entre 0,5 % y 0.005 % de la masa de la muestra.
- b) Después de determinar la masa, se coloca inmediatamente la muestra de ensayo saturada y de superficie seca en el recipiente, y se determina su masa en el agua a una temperatura de (23 ± 2) °C con un valor de densidad del agua de 1 g/ml. Antes de pesar se toman precauciones para eliminar todo el aire atrapado, agitando el recipiente mientras está sumergido.
- c) Se seca la muestra introduciéndola en el horno a una temperatura comprendida entre 100°C y 110°C hasta que el valor de su masa sea constante. Se deja enfriar al aire a temperatura ambiente durante 1h a 3, o hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura de cómoda manipulación (± 50 °C), y se determina su masa.

2.2.18.3 Expresión de resultados

Es importante recalcar que ambas normas siguen la misma metodología para el cálculo de la densidad por lo que las fórmulas expresadas en esta sección equivalen para ambos agregados.

Antes de llegar al cálculo del peso específico de la masa se debe contar con ciertos datos para lo cual se requiere hacer una serie de cálculos con anterioridad entre los cuales están.

El peso neto de la muestra saturada superficie seca el cual se calcula de la siguiente manera:

$$E = B - A$$

Ec. (39)

El peso neto de la muestra seca que se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = D - A$$

Ec. (40)

El peso del agua desalojada (volumen de masa + volumen de poros) con la expresión:

$$V = E - C$$

Ec. (41)

Y finalmente se obtiene el peso específico de la masa el cual quedara expresado de la siguiente manera:

$$p = \frac{F}{V} \text{ (g/ml)}$$

Ec. (42)

Donde:

A= peso del recipiente

B= peso de muestra saturada superficie seca más recipiente

C= peso neto de muestra saturada superficie seca (sumergida)

D= peso de muestra seca más recipiente

E= peso neto de la muestra saturada superficie seca

p = peso específico

F= Peso neto de la muestra seca

V= Peso del agua desalojada (volumen de masa más volumen de poros)

2.2.18.4 Peso específico aparente

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros saturables y no saturables, (sin incluir los vacíos entre partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

El peso específico aparente quedara expresado de la siguiente manera:

$$W = F - C$$

Ec. (43)

$$p_a = \frac{F}{W} \text{ (g/ml)}$$

Ec. (44)

Donde:

p a = peso específico aparente

F= Peso neto de la muestra seca

C= peso neto de muestra saturada superficie seca (sumergida)

W= Volumen neto de la masa descontado los poros

2.2.18.5 Peso específico de la masa saturada superficie seca

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, después de la inmersión en agua durante (24 ± 4) h, pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida.

El peso específico de la masa saturada superficie seca quedara expresado de la siguiente manera:

$$p_{sss} = \frac{E}{V} \text{ (g/ml)}$$

Ec. (45)

Donde:

E= Peso específico de la masa saturada superficie seca

P_{sss}= Peso neto de la muestra saturada superficie seca

V= Peso del agua desalojada (volumen de masa + volumen de poros)

2.2.18.6 Absorción

Es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

El porcentaje de absorción quedara expresado por la siguiente fórmula:

$$\text{Peso de agua absorbida} = E - F$$

Ec. (46)

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso de agua absorbida}}{\text{Peso neto de la muestra seca}} * 100$$

Ec. (47)

Donde:

E= peso neto de la muestra saturada superficie seca

F= Peso neto de la muestra seca

2.2.19. Determinación del peso específico relativo, verdadero y aparente y la porosidad del coque según norma COVENIN 2732-90

Esta norma contempla el peso específico relativa del coque, por ejemplo, la relación de la masa de un volumen de coque seco a la masa de un volumen igual de agua y el cálculo de absorción del coque.

2.2.19.1 Procedimiento

Una muestra de agregado se sumerge en agua durante (24±4) h aproximadamente para saturar los poros. Luego se remueve el agua y se seca en un recipiente adecuado, y se determina su masa una primera vez. Posteriormente, la muestra se sumerge en agua y se determina su masa una

segunda vez. Finalmente, se seca al horno y se determina su masa una tercera vez. Con las masas obtenidas y las fórmulas de este método de ensayo, se calculan tres (3) formas de densidad y la absorción.

2.2.19.2 Expresión de los resultados

El peso específico relativa verdadera del coque, es dada por la ecuación:

$$d = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3}$$

Ec. (48)

Donde:

m_1 = es la masa del coque seco, expresada en gramos

m_2 = es la masa del picnómetro lleno con agua, expresado en gramos

m_3 = es la masa del picnómetro lleno con agua y coque, expresada en gramos.

2.2.19.3 Peso específico aparente

El volumen de una gran cantidad de coque se determina por desplazamiento en agua, dividiendo la masa del coque seco entre la masa de un volumen igual de agua se obtiene el peso específico relativo aparente.

El peso específico aparente quedara expresado de la siguiente manera:

$$\rho_a = \frac{A}{W}$$

Ec. (49)

Donde:

ρ_a = Peso específico aparente

A = Peso neto de la muestra seca

W = Volumen neto de la masa descontado los poros

2.2.19.4 Porosidad

La porosidad se calcula a partir del Peso específico relativo verdadero y el peso específico relativo aparente.

$$\frac{d - dA}{a} \times 100$$

Ec. (50)

Donde:

d= es el peso específico verdadero del coque

dA= el peso específico relativo aparente.

2.2.20. Determinación de la composición granulométrica. Agregados, según norma COVENIN 255-1998

La granulometría, es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices.

Esta Norma contempla un procedimiento para la determinación por cernido de la distribución de los tamaños de las partículas de agregados finos y gruesos.

Algunas especificaciones para agregados que se referencian en esta norma contienen requisitos de gradación que abarcan tanto la fracción gruesa como la fina. Se incluyen, por lo tanto, las instrucciones para el análisis de la composición granulométrica de agregados finos y gruesos.

2.2.20.1 Procedimiento

- a) Se separa una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de cedazos de aberturas progresivamente más reducidas para determinar la distribución de los tamaños de las partículas.
- b) La muestra se seca en el horno hasta que alcance una masa constante a una temperatura de (110 ± 5) °C.
- c) Se deben seleccionar los tamaños adecuados de los cedazos para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubren el material ensayado.
- d) Se ensamblan los cedazos en orden de tamaños de aberturas decrecientes desde arriba hacia abajo colocando la muestra en el cedazo superior. Se agitan los cedazos a mano o por medios

mecánicos durante un periodo de tiempo determinado por tanteo o por mediciones en la muestra de ensayo, que sea suficiente para cumplir con el criterio establecido.

- e) Se continúa el cernido hasta que durante un (1) minuto de cernido manual continuo, no pase más de 1% en masa del residuo por ningún cedazo

2.2.20.2 Expresión de resultados

Se calcula los porcentajes del material retenido en cada cedazo, los porcentajes totales de material retenido en los mismos, o los porcentajes en varias fracciones con una aproximación del 0,1% con base en la masa total de la muestra seca.

Se calcula el módulo de finura, tal cual se describe en la sección 2.2.7.4.

2.2.21 Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams según norma COVENIN 339:2003

El ensayo de asentamiento del concreto o prueba del cono de Abrams es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.

Esta Norma Venezolana contempla el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco (en las obras y en el laboratorio), mediante el uso del Cono de Abrams. El rango de asentamiento adecuado para aplicar el método va desde ½" (15 mm) a 8" (203 mm) No es aplicable para mezclas donde existan cantidades considerables de agregados mayores de 1 ½" (3.75 cm.).

2.2.21.1 Procedimiento

- a) Se humedece el interior del molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente (se recomienda una lámina metálica que garantice las condiciones anteriores). El molde se sujeta

firmemente por las aletas con los pies y se llena con la muestra de concreto, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde.

- b) Cada capa se compacta con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa inferior es necesario inclinar ligeramente la barra y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección.
- c) El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si después de compactar, el concreto se asienta por debajo del borde superior, se agrega concreto hasta lograr un exceso sobre el molde. Luego se enrasa mediante la barra compactadora o una cuchara de albañilería. Inmediatamente se retira el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. Deben evitarse los movimientos laterales o de torsión.
- d) La operación completa desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo máximo de 1 min 30 s.
- e) El asentamiento se mide inmediatamente después de alzar el molde y se determina por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (véase Figura 6). En caso de que se presente una falla o corte, donde se aprecie separación de una parte de la masa, debe rechazarse el ensayo, y se hace nuevamente la determinación con otra parte de la mezcla.
- f) Si dos ensayos consecutivos sobre una misma mezcla de concreto arrojan el resultado del punto anterior, el concreto probablemente carece de la plasticidad y cohesión necesaria para la validez del ensayo.

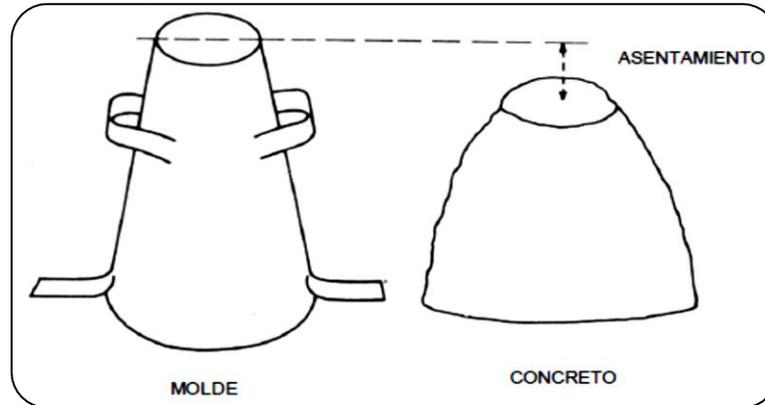


Figura 6. Medición del asentamiento
Fuente: COVENIN 339:2003 (2003)

2.2.21.2 Expresión de los resultados

Debe anotarse el asentamiento de la muestra, medido con aproximación al medio centímetro más cercano.

2.2.22. Peso unitario del concreto endurecido

El peso unitario (kg/m^3), esta propiedad indica cuanto mide la cantidad de masa respecto al volumen que ocupa.

Esta varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta el peso unitario.

2.2.22.1 Procedimiento

Después de cumplir el proceso de curado de cada probeta cilíndrica se pesa cada una de ellas y se aplica las formulas correspondientes para obtener la densidad del concreto.

2.2.22.2 Expresión de los resultados

Se calcula al dividir el peso del material entre el volumen que este ocupa de acuerdo a la siguiente fórmula:

El peso unitario se calculó dividiendo cada peso de la probeta cilíndrica entre el volumen de la misma de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{\text{peso}}{V}$$

Ec. 51

Donde el volumen del cilindro se calcula multiplicando el área del cilindro por la altura de la siguiente manera:

$$V = \text{Area} * H$$

Ec. 52

Y para obtener el área del cilindro se hace de acuerdo a la siguiente fórmula mostrada:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2)$$

Ec. (53)

Donde:

ρ = peso unitario

V= Volumen del cilindro

A= Área del cilindro

H= Altura del cilindro

D= diámetro del cilindro

2.2.23. Ensayo a compresión de cilindros de concreto según norma COVENIN 338:2002

Esta Norma Venezolana contempla el método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto.

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

2.2.23.1 Procedimiento

- a) Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, se centran cuidadosamente y se comprimen. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina deben estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.
- b) En el caso de las máquinas de tipo mecánico el desplazamiento del cabezal debe ser aproximadamente de 1,3 mm. Por minuto; en las máquinas operadas hidráulicamente se aplicará una presión a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm²/seg a 3,5 kg/cm²/seg. Durante la aplicación de la primera mitad de la presión, se permite incrementar dicha tasa.

2.2.23.2 Expresión de los resultados

La resistencia a compresión de cada cilindro es el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro. El resultado del ensayo es el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo.

La resistencia a compresión de cada cilindro se calcula por la siguiente fórmula:

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

Ec. (54)

Donde:

Rc = Resistencia a compresión kgf/cm²

P = Carga máxima aplicada, kgf

A = Área de la sección transversal del cilindro, cm²

2.2.24 Resistencia a la abrasión

El término abrasión, se refiere a la fricción en seco, generada por partículas que por el tráfico vehicular ocasionan el fenómeno de desgaste en pavimentos o pisos industriales. (Ghaffori y Col., 1999) pag. 12

La resistencia del concreto a la abrasión es la habilidad que tiene la superficie para resistir el desgaste producido por fricción, frotamiento, raspaduras o percusiones.

Esta resistencia a la abrasión es difícil de valorar, ya que la acción perjudicial varía según sea la causa exacta del daño y no hay ningún método de prueba que sea satisfactorio para evaluar todas las condiciones a pesar de que existen métodos como los de las normas ASTM C-944, C-779 Y C-418, en los cuales se emplean diversos procedimientos. Por ellos el mejor criterio para la selección de un concreto resistente a la abrasión consiste en tomar la resistencia a la compresión del concreto como factor principal de su resistencia a la abrasión.

En las pruebas de desgaste, la profundidad del mismo es una muestra de la medida de la abrasión del concreto, los procedimientos más empleados para tal efecto están contemplados en las normas ASTM C-779:

➤ **Método de los discos giratorios**

Esta prueba consiste de un disco con tres superficies planas que giran en trayectoria circular a 0.2 Hz (Hertz). Cada superficie gira sobre su propio eje a 4.7 Hz. Se emplea arenisca de carburo de silicio del N° 60 como agente abrasivo. Los especímenes (3 piezas) pueden ser de aproximadamente 30.5 cm por lado. La prueba dura 30 minutos, en donde al final se mide la profundidad individual y se obtiene un promedio.

➤ **Método de las ruedas dentadas**

Este procedimiento consta de la acción de tres ruedas dentadas de acero que giran libremente y a su vez están sujetas a un árbol vertical. Las muestras usadas pueden ser de 30.5 cm. por lado. La prueba tiene una duración de 30 a 60 minutos dependiendo del tipo de simulación. El informe

contiene la profundidad obtenida con respecto al tiempo a intervalos de 15 minutos, así como los datos de la mezcla del concreto.

➤ **Método del cojinete de bolas**

La función de este aparato es dependiente de la acción abrasiva de un arreglo de baleros que giran a 17 Hz con una carga en una superficie húmeda. La acción del agua con las partículas sueltas durante la prueba proporciona impacto, generando así una fricción deslizante. El tamaño de la probeta es igual al de los procedimientos anteriores. El fin consistirá en obtener la profundidad a cada 50 segundos durante 1200 segundos que dura la prueba.

La pérdida de peso, es una segunda forma de medir el desgaste del concreto. La norma ASTM-C-944 describe el método del cortador rotatorio, el cual consiste en un dispositivo similar a un taladro con broca, el cual gira a una velocidad de 200 rpm (revolución por minuto). Este procedimiento, es apropiado para “almas” de concreto obtenidas de morteros o concretos, en donde el área es insuficiente para ser probado por las normas C 418 y C 779 de la ASTM. Durante la prueba se aplica una carga de 10 kgf en el espécimen durante 2 minutos y en tres periodos. Por medio de una balanza se obtienen los pesos de la muestra al final de cada periodo. Al igual que los procedimientos anteriores se informa de las características de la mezcla.

2.2.25 Concretos Permeables

La permeabilidad se utilizó como parámetro de caracterización de la circulación del agua. Existen estructuras en las que la permeabilidad resulta ser el parámetro principal para determinar la aptitud que un cuerpo poroso penetrado por un fluido cuando aquél se encuentra sometido a un diferencial de presión.

El concreto permeable es un material que se compone de agregado grueso, cemento y agua. A diferencia del concreto convencional, este tipo de

material no contiene agregado fino (arena) en su mezcla inicial, aunque estos pueden ser introducidos en el proceso de compactación. La ausencia o disminución de material fino le proporciona a este concreto su característica de permeabilidad.

Al comparar las características del concreto permeable y las del concreto convencional se puede decir que el concreto permeable tiene menor resistencia a la compresión, una mayor permeabilidad y un menor peso unitario, aproximadamente un 70% del concreto convencional.

➤ **Propiedades del concreto permeable**

Las diversas propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (porcentaje de vacíos), que a su vez depende del contenido de cemento, relación agua cemento, el nivel de compactación, y la gradación del agregado y su calidad. El tamaño de los poros en el material también afecta las propiedades de resistencia. (Ghafoori & Dutta, 1995) pág. 10.

Debido a que el concreto permeable contiene una mínima cantidad de agua y alta porosidad, se debe tener un cuidado especial durante su transporte y colocación, además, el proceso de curado se vuelve un tema delicado, ya que se debe mantener la humedad de la mejor forma posible, cubriendo el pavimento inmediatamente después que este haya sido colocado y no debe utilizarse hasta luego de siete días de su construcción.

➤ **Aplicaciones**

Entre sus usos más habituales se encuentran estos:

- ✓ Pavimentos de bajo volumen de tránsito
- ✓ Caminos residenciales, callejones y entradas para vehículos
- ✓ Estacionamientos
- ✓ Ciclovías
- ✓ Pasos bajos de agua
- ✓ Canchas de tenis

- ✓ Sub base para pavimentos de concreto convencional
- ✓ Patios
- ✓ Arrecifes artificiales
- ✓ Estabilización de taludes
- ✓ Revestimiento
- ✓ Bases/pisos para invernaderos, criaderos de peces, parques acuáticos y zoológicos
- ✓ Estructuras hidráulicas
- ✓ Cubiertas de piscinas
- ✓ Drenajes en bordes del pavimento
- ✓ Espigones y rompeolas
- ✓ Barreras de ruido
- ✓ Muros (inclusive estructurales)

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

La metodología para toda investigación es de importancia fundamental. Para ello se planteó una metodología o procedimiento ordenado que se siguió para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales están encaminados el significado de la investigación. Es importante que en la metodología de la investigación se describa detalladamente los métodos, técnicas o procedimientos empleados en el estudio de la misma.

Arias, (2012), define el marco metodológico como la metodología del proyecto que incluye el tipo de investigación, las técnicas y los instrumentos utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder el problema planteado. p. (110).

Es decir, dónde se busca identificar o señalar el tipo y diseño de investigación, los lineamientos y los métodos específicos que servirán para establecer las técnicas de recolección de los datos y la técnica de análisis de los mismos.

3.1. Proyecto factible

Según, Arias (2012):

El proyecto factible se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización. p. (134).

La presente investigación es un proyecto factible ya que está dirigido en proponer las posibles aplicaciones del coque petrolero como agregado sustentable en mezcla de concreto para así darle uso a dicho material y poder minimizar los vertederos existentes del coque petrolero, que están generando un daño ambiental en la zona donde se encuentra acumulado a cielo abierto.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se presenta en este proyecto, es una investigación experimental, ya que se llevó a cabo la realización de mezclas de concreto usando como agregado sustentable al coque petrolero para así poder establecer sus posibles usos en el área de la construcción civil, tomando en cuenta los resultados de cada uno de los ensayos que se realizaron para observar las características, resistencia y comportamiento del coque petrolero como agregado sustentable.

Según Martins (2010):

La investigación experimental es aquella según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa. (pag.86)

Es importante recalcar que este proyecto quedó sustentado a su vez por una investigación de tipo documental, ya que se tomaron en cuenta información proveniente de materiales impresos, bibliografía y fuentes electrónicas especializadas en el tema, para afianzar las bases teóricas del mismo.

3.3. Nivel de investigación

Esta investigación se presenta bajo un nivel de investigación explicativa, esta requiere la combinación de los métodos analítico y sintético, en conjugación con el deductivo y el inductivo, se trata de responder o dar cuenta del porqué del objeto que se investiga a través del establecimiento de la relación causa y efecto.

Según Arias, (2012)

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (pag.26)

En este sentido se busca dar a conocer la causa y efectos que genera el coque petrolero como agregado a mezclas de concreto para saber sus características, comportamiento y resistencia que puede tener y así darle las diversas aplicaciones en materia de construcción civil quedando plasmada una respuesta factible al problema en estudio.

3.4. Técnicas y herramientas a utilizar

Según Arias (2012), se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, ahora bien, toda técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material con la finalidad de darle un uso posterior, donde los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados. A este soporte se le denomina instrumento, que no es más que cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.

Basado en lo descrito anteriormente para la recolección de datos de esta investigación se utilizaron las siguientes técnicas:

3.4.1 Revisión documental o bibliográfica

Según Arias (ibídem), una investigación documental es un proceso basado en la búsqueda del soporte material o formato digital en el que se registra y conserva una información, por lo que el material encontrado en cualquier elemento físico o digital, es parte de la investigación documental.

Esta técnica se utilizó para buscar información acerca de las bases teóricas que afianza este proyecto, también fue considerada como el punto de partida las fuentes bibliográficas importantes para el desarrollo del estudio, aportando así los conocimientos necesarios de éste modo, se consultaron tesis, proyectos de investigación, noticias, estudios realizados dentro y fuera del país, portales web, entre otras fuentes.

3.4.2. Observación directa

La observación es percibir activamente la realidad exterior, orientándole hacia la recolección de datos previamente definidos como de interés en el curso de la investigación. Arias (ibídem) pág. (69).

Por medio de esta técnica se obtuvo de forma ordenada la información, ya que permitió conocer con exactitud los resultados de cada uno de los ensayos realizados para ir tomando nota del comportamiento mecánico de las mezclas utilizando el coque petrolero como agregado sustentable.

3.4.3. Instrumentos de recolección de datos

3.4.3.1. Instrumentos y equipos de oficina

- Papel
- Lápiz
- Bolígrafos
- Computadora
- Impresora
- Calculadora
- Pendrive
- Libretas
- Cámara Fotográfica

3.4.3.2 Instrumentos y Equipos de campo

- Cinta métrica
- Balanzas

Carretilla

Pala

Barra compactadora de acero, recta, cilíndrica y lisa

Balde con capacidad de 18 Litros

Trompo con capacidad de 40 Litros

Moldes Cilíndricos de 15x30 (cm)

Paleta de Albañil

Recipientes

Cono de Abrams

Regla medidora de Grietas

3.4.3.3. Instrumentos y equipos de laboratorio

Balanzas

Recipientes metálicos

Cedazos

Horno

Máquina de ensayo a compresión. Marca; Forney. Modelo; FT-21

Picnómetro

Probetas

Brochas

Espátulas

Tronzadora de 14". Marca; Dewal. Modelo; D28710

3.5 Fases de la investigación

3.5.1 Recopilación y actualización de la Información

Esta es la primera etapa del proyecto, una de las más fundamentales en el desarrollo de la investigación, ya que en esta etapa se recabó todos los aspectos técnicos y metodológicos que fueron necesarios, para dar sustento al contenido y a las etapas de dicho proceso.

3.5.1.1 Revisión Bibliográfica

En la elaboración del contenido del presente proyecto para afianzar las bases teóricas del mismo, así como para obtener la información técnica para la realización de los ensayos requeridos en la presente investigación, fue necesario consultar diversas normas las cuales fueron las normas COVENIN y la norma ACI 211.1-81, de igual manera se consultaron otros tipos de fuentes fundamentales para sustentar la parte técnica y teórica del proyecto destacando de igual manera que las normas, al Manual de concreto estructural Porrero y Grases (2009) el cual también fue utilizado en todo el proceso de la investigación.

Simultáneamente a esto también se revisaron otros tipos de fuentes, tales como libros, publicaciones en la web, guías, manuales, que guardaran relación con el tema en estudio del presente proyecto, aplicando los criterios metodológicos de la investigación documental y la búsqueda de información, englobando un procedimiento de análisis e investigación exhaustivo, que derivó en aproximadamente 2 semana de preparación, y no obstante a esto se realizaron consultas durante todo el proceso de elaboración de este documento.

3.5.2 Identificación de las características del coque como agregado sustentable en mezclas de concreto

En esta etapa se buscó reconocer todos los estudios, conocimientos y características existentes que tienen algún tipo de referencia comprobada referente al coque petrolero; para llevar a cabo esta actividad se indagó en estudios ya realizados teniendo este material como agregado sustentable y que sean útiles en el campo de la construcción.

De igual manera se realizaron diversos ensayos para conocer las características físicas y mecánicas del material principal del presente tema en estudio, el cual es el coque petrolero, siguiendo los lineamientos establecidos en las normas COVENIN de acuerdo a cada ensayo realizado, entre los cuales se puede mencionar:

- ✓ Porcentaje de humedad de acuerdo a la norma COVENIN 1375-79 y la COVENIN 2508-88
- ✓ Peso unitario, según norma COVENIN 263-78
- ✓ Peso específico y la absorción, según COVENIN 268-1998 y la COVENIN 2732-90
- ✓ Composición granulométrica, según norma COVENIN 255-1998

Dicho procedimiento abarcó un lapso de tiempo de 4 semanas entre la organización de la información y la realización y análisis de los ensayos.

3.5.3 Realización de diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero bajo la concepción del método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grasas.

En el desarrollo de esta etapa se realizó diversas mezclas, las cuales se diseñaron aplicando el método ACI, y de acuerdo al Manual de concreto de Porrero y Grasas cumpliendo con las especificaciones establecidas por ambos métodos. Se diseñaron 3 tipos de mezclas, una mezcla convencional la cual es la mezcla patrón, y los otros dos tipos de mezcla se diseñaron con un agregado sustentable que para efectos de este proyecto es el coque petrolero, estas dos mezclas se diseñaron con los mismos parámetros que la mezcla patrón solo que a estas dos se le reemplazó un 50% y 30% del agregado fino con coque petrolero, sin embargo, las tres fueron diseñadas con el mismo método y con la misma resistencia la cual fue de 250 kgf/cm².

Cabe destacar que en esta actividad se desarrolló los ensayos a los agregados utilizados y los ensayos correspondientes al concreto en estado fresco, sustentados en los lineamientos de las normas COVENIN las cuales fueron:

- ✓ COVENIN 263-78. Peso unitario
- ✓ COVENIN 268-1998. Peso específico y la absorción
- ✓ COVENIN 255-1998. Composición granulométrica

- ✓ COVENIN 339:2003. Medición del asentamiento con el cono de Abrams
- ✓ COVENIN 338:2008. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.

Esta fase del proyecto abarcó una duración de dos meses.

3.5.4 Ensayos de las diversas mezclas de concreto utilizando como agregado sustentable al coque petrolero según los requerimientos de las normas COVENIN

Después de realizar la evaluación del concreto en estado fresco, y la elaboración de las diversas probetas cilíndricas sometidas a un proceso de curado siguiendo los lineamientos establecidos en las siguientes normas:

- ✓ COVENIN 338:2008. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.
- ✓ COVENIN 1753:2006. Estructuras de concreto Armado para edificaciones análisis y diseño.
- ✓ COVENIN 1976:2003. Concreto. Evaluación y métodos de ensayos.

Se ensayaron las probetas cilíndricas a una edad comprendida de 3 días, 7 días y 28 días, donde se constató el comportamiento a compresión de las mezclas de concreto diseñadas en la etapa anterior tanto la mezcla patrón como la mezcla con agregado sustentable; este procedimiento tuvo una ejecución en aproximadamente 4 semanas.

3.5.5 Definición de posibles aplicaciones en el campo de la construcción civil

Esta etapa del proyecto abarco un lapso de tiempo de 3 semanas; De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la etapa anterior, se determinó en que campo de la construcción civil pueden ser utilizadas las mezclas de concreto experimentadas. Es relevante recalcar que estas posibles aplicaciones es la idea principal en la cual se aborda este tema lo cual es darle uso al coque como agregado sustentable en mezclas

de concreto, lo que forma parte de un proyecto previamente concebido y estudiado por los autores para llegar al propósito final el cual será abordado en el capítulo IV, sección 4.5.5

3.5.6 Conclusiones y recomendaciones

Una vez finalizadas todas las etapas del proyecto se dio inicio a organizar toda la información y conclusiones obtenidas en las etapas anteriores, para elaborar el informe final con todas las conclusiones y recomendaciones en cuanto al proyecto cumpliendo con el alcance de la investigación, esta etapa se cumplió en un lapso de tiempo de 3 semanas.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestran los procedimientos, observaciones y resultados obtenidos durante todo el desarrollo experimental del presente proyecto; los resultados se obtuvieron siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo III, los mismos se presentaron mediante tablas y gráficos.

4.1 Características del Coque

En este apartado se procedió a estudiar ciertas características físicas y mecánicas del coque, para conocer sus condiciones principales, los ensayos se realizaron en el laboratorio TECNISUCA, dirigido por el laboratorista Yumar Andueza, el tutor académico Ingeniero Jhonatan Martínez y los autores bajo los principios fundamentales de las normas COVENIN.

Los cuales fueron realizados en un intervalo de tiempo de 4 meses, desde el 27/05/2018 hasta el 27/11/2018.

Es importante recalcar que a pesar de que la comisión venezolana de normas industriales tiene normas establecidas para el estudio del coque petrolero, para efectos de este trabajo de grado el coque petrolero se consideró como un agregado fino por lo que se procedió a realizar los ensayos de acuerdo a los principios de cada norma indicada en el estudio de agregados para mezclas de concreto. Los cuales se describen a continuación:

4.1.1 Contenido de humedad de acuerdo a la COVENIN 1375-79

El contenido de humedad se realizó extrayendo una porción de la muestra a estudiar; en este caso del coque petrolero, es fundamental evidenciar que este procedimiento se les realizó a dos muestras para luego obtener un promedio entre ambas muestras estudiadas. Las muestras se muestran en la figura 7.



Figura 7. Muestras para contenido de humedad
Fuente: autores (2018)

Las muestras en estudio pesaron 61,2 y 52,8 gramos, tal cual como se muestra en la tabla 14, estas pesadas se realizaron evitando en lo posible la pérdida de humedad. Las muestras se colocaron en envases y se secaron utilizando un horno como fuente de calor, a una temperatura de 105°C por 24 horas, evitando la pérdida de partículas del agregado.

Pasada las 24 horas, se dejó enfriar la muestra lo suficiente para no dañar la balanza y luego se pesó observando que la muestra estaba totalmente seca cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas era inferior al 0,1% del peso de la muestra.

Una vez culminado el procedimiento siguiendo con todos los parámetros establecidos, se procedió a realizar los cálculos pertinentes de la siguiente manera:

Tabla 13. Datos de la determinación de contenido de humedad

Nº Muestra	Nº Capsula	Peso de muestra Húmeda (g)	Peso de muestra Seca (g)
01	34	61,2	60,2
02	35	52,8	52,2

Fuente: Autores (2018)

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 14 se aplicó la ecuación 34 del capítulo II de la sección 2.2.15.2.

$$H = 100 \frac{61,2 - 60,2}{60,2} = 1,66$$

$$H = 100 \frac{52,8 - 52,2}{52,2} = 1,15$$

Para continuar con el cálculo de humedad finalmente se hizo un promedio con los dos resultados de las muestras ensayadas de la siguiente manera:

$$H = \frac{1,66 + 1,15}{2} = 1,41$$

En referencia al resultado anterior se concluye que el contenido de humedad promedio del coque petrolero es de 1,41 %, este resultado va acorde a las características que fueron conocidas por referencias teóricas y comprobadas experimentalmente que es un material poroso en comparación a los agregados convencionales según Freitas 2012, esto quiere decir que en los poros del agregado había un grado de agua considerable.

4.1.2 Determinación del peso unitario del agregado según norma COVENIN 263-78

El peso unitario es una propiedad de gran importancia en la dosificación de los agregados tanto el peso unitario suelto y compactado ya que permite desarrollar un mejor diseño de mezcla.

Para realizar el peso unitario suelto se llenó un recipiente de coque petrolero con una pala hasta rebosar, depositando el agregado a una altura aproximadamente de 5 cm por encima de la parte superior del recipiente, como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Peso unitario suelto
Fuente: autores (2018)

Como el molde se llenó hasta rebosar, con una varilla se desechó el agregado sobrante, posterior a esto se procedió a pesar el molde pero esta vez con la muestra depositada en el. Dichos datos están reflejados en la tabla 15.

De igual manera se desarrolló el peso unitario compacto, el procedimiento utilizado es similar en algunos aspectos al peso unitario suelto solo que en este se llenó el molde en tres capas a $1/3$ a $2/3$ y hasta rebosar, compactando cada capa con 25 golpes en forma de espiral usando una barra compactadora, tal cual como se muestra en la figura 9, lo sobrante se retiró con la varilla para que la muestra quedara a nivel con el recipiente. Por último, se pesó el recipiente cilíndrico con la muestra compactada.



Figura 9. Peso unitario compacto

Fuente: autores (2018)

Para obtener valores confiables se tomaron 3 muestras del agregado para estudiar el peso unitario tanto suelto como compacto y se promediaron como se muestran en las tablas 15 y 16.

Tabla 14. Datos del peso unitario suelto y peso unitario compacto

Nº	Peso del Molde (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso de la Muestra unitario suelto + molde (kg)	Peso de la Muestra unitario compacto + molde (kg)
1	7,295	3,200	9,936	10,362
2	7,295	3,200	9,986	10,350
3	7,295	3,200	9,970	10,315

Fuente: Autores. (2018)

Para el cálculo del peso unitario suelto se dio uso de la ecuación 36 y la ecuación 37 como se describió en el capítulo II sección 2.2.17.3.

$$P.A = 9.936 - 7.295 = 2.641 \text{ kg};$$

$$P.U.S = \frac{2.641}{3.200} = 0,83 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 15. Resumen de los resultados del peso unitario suelto

Nº	Peso de agregado (kg)	Peso unitario suelto (kg/m ³)
1	2,641	0,830
2	2,691	0,840
3	2,675	0,836

Fuente: Autores. (2018)

$$P. U. S = \frac{0,830 + 0,840 + 0,836}{3} = 0,835 \text{ kg/m}^3$$

Para el cálculo del peso unitario compactado se dio uso de la ecuación 36 y la ecuación 38:

$$P. A = 10.362 - 7.295 = 3067 \text{ kg} ; \quad P. U. C = \frac{3.067}{3.200} = 0,958 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 16. Resumen de los resultados del peso unitario compacto

Nº	Peso de agregado (kg)	Peso unitario suelto kg/m ³
1	3,067	0,958
2	3,055	0,955
3	3,020	0,944

Fuente: Autores. (2018)

$$P. U. C = \frac{0,958 + 0,955 + 0,944}{3} = 0,952 \text{ kg/m}^3$$

4.1.3. Determinación del peso específico y la absorción según COVENIN 268:1998

Se seleccionó una muestra considerable para realizar el ensayo, esta se sumergió en agua durante más de 24 horas, aun cuando la norma indica que la muestra debe de estar sumergida en agua durante 24 horas, en este tipo de material se tuvo que proceder a dejarla sumergida aproximadamente por 48 horas debido que el proceso de absorción del coque es lento, es decir se pudo apreciar que el agua no penetra en el coque al instante. Por lo cual se decidió por consideraciones del laboratorista de TECNISUCA que para saturar completamente los poros del coque y obtener un resultado veraz se debería de optar por esta opción.



Figura 10. Muestra del coque sumergida en agua
Fuente: autores. (2018)

Luego de esto se removió el agua y se secó en un recipiente, determinando la masa por primera vez, posteriormente, la muestra se volvió a sumergir en agua y se calculó la masa por segunda vez, y aquí es finalmente donde, la muestra se introdujo al horno para su secado y se determinó la masa por tercera vez, ya con las masas obtenidas se procedió a calcular con las fórmulas correspondientes las 3 formas de peso específico y la absorción. Los datos obtenidos se reflejan en la tabla 18 y el resumen de los resultados en la tabla 19.

Tabla 17. Datos para el cálculo del peso específico y la absorción

A= Peso del recipiente	B= Peso de muestra saturada superficie seca + recipiente,	C= Peso neto de muestra saturada superficie seca (sumergida)	D = Peso neto de muestra seca + recipiente
129,9	399,1	47,2	387,7

Fuente: autores. (2018)

Para llegar al cálculo del peso específico de la masa lo primero que se procedió a calcular fue el peso neto de la muestra saturada superficie seca con la Ec. 39 descrita en el capítulo II sección 2.2.18.3.

$$E = 399,1 - 129,9 = 269,2 \text{ g}$$

Luego de esto se procedió a calcular el peso neto de la muestra seca utilizando la Ec. 40.

$$F = 387,7 - 129,9 = 257,8 \text{ g}$$

Prosiguiendo con el calculo se dio uso de la Ec. 41 para obtener el peso del agua desalojada:

$$V = 269,2 - 257,2 = 222 \text{ ml}$$

Y finalmente se obtuvo el peso específico de la masa con la Ec. 42

$$\rho = \frac{257,8}{222} = 1,161 \text{ g/ml}$$

Para el cálculo del peso específico aparente fue necesario calcular en primer lugar el volumen neto de la masa descontando los poros, para lograr este cálculo se hizo uso de Ec.43.

$$W = 257,8 - 47,2 = 210,6$$

Y por último se calculó el peso específico aparente aplicando la Ec. 44

$$\rho a = \frac{257,8}{210,6} = 1,224 \text{ g/ml}$$

En este paso se aplicó la Ec. 45 para obtener el peso específico de la masa saturada superficie seca:

$$p_{sss} = \frac{269,2}{222} = 1,213 \text{ g/ml}$$

Para obtener el porcentaje de absorción en primer lugar lo que se debe de conocer es el peso de agua absorbida el cual se calculó aplicando la Ec. 46.

$$\text{peso de agua absorbida} = 269,2 - 257,8 = 11,4 \text{ g/ml}$$

Y finalmente con la aplicación de la Ec. 47 se conoció el porcentaje de absorción del coque petrolero:

$$\text{porcentaje de absorción} = \frac{11,4}{257,8} * 100 = 4,422\%$$

Tabla 18. Resumen de los resultados

Ensayo	Resultado
Peso específico de la masa	1,161 kg/ml
Peso específico aparente	1,224 kg/ml
Peso específico de la masa sat. Sup. seca	1,213 kg/ml
Porcentaje de absorción	4,422 %

Fuente: autores. (2018)

4.1.4. Determinación de la composición granulométrica, según norma COVENIN 255-1998

En esta sección se calculó la composición granulométrica del coque y posteriormente de acuerdo a los resultados se realizó una curva granulométrica para una mejor visualización de la distribución del agregado y a la vez hacer una comparación con los límites granulométricos propuestos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado, con los porcentajes pasantes ilustrados en la tabla 1 de la sección 2.2.7.1.

El coque petrolero tiene una composición granulométrica combinada, es decir está entre partículas gruesas y finas, por lo que su estudio fue combinado. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Seleccionando una muestra del material en estudio, la cual se sometió a un proceso de secado a una temperatura de (110 ± 5) grados centígrados, luego se acoplaron los tamices en orden de tamaños de aberturas decrecientes desde arriba hacia abajo para el proceso de cernido, el cual se hizo de forma manual, se realizó hasta que por durante un (1) minuto no pasó más de 1% en masa del residuo por ningún cedazo, este se hacía con un movimiento ascendente contra la palma de la otra mano y hacia los lados con ambas manos, rotando el cedazo en un sexto de vuelta aproximadamente con 25 golpes. En la fig. 11 se muestran los ensayos utilizados en este ensayo.



Figura 11. Tamices utilizados en ensayo granulométrico
Fuente: autores (2018).

Los resultados obtenidos se presentaron en la tabla 19 y el gráfico 1.

Tabla 19. Granulometría del coque petrolero

Tipo de agregado		Coque				Límites	
Peso total		2058 g				Granulométricos	
Abertura (mm)	Cedazo (Pulg.)	Peso Retenido (g)	Peso retenido Parcial (g)	% retenido	% Pasante	Inferior	Superior
25,4	1	92	5	5	95	90	100
19,05	¾	104	5,13	10,13	90	70	95
12,7	½	200	9,87	20	80	65	85
9,53	3/8	158	7,79	27,79	72,21	55	78
6,35	¼	231	11,38	39,17	60,83	45	60
4,76	4	132	6,51	45,68	54,32	30	55
2,38	8	15,2	16,94	16,94	45,12	20	48
1,19	16	20	22,29	39,23	33,01	15	35
0,59	30	19,6	21,84	61,07	21,15	10	25
0,29	50	12,6	14,04	75,11	13,52	5	16
0,14	100	3,6	4,01	79,12	11,34	1	8
	200	5,1	5,68	84,21	8,20	0	3

Fuente: autores. (2018)

El coque petrolero por ser un material de desecho industrial, no existe una data granulométrica que sirva de parámetros guías en los diseños de mezclas, por lo tanto, es necesario generar parámetros que permitan

ingresar este material con alguna variable “conocida” al nuevo diseño de mezcla que presenta este trabajo de grado.

La granulometría del coque petrolero se homologó con la granulometría compuesta según datos conocidos de agregados convencionales, teniendo el mismo rango para los límites de las curvas granulométricas.

En el gráfico 1. Curva granulométrica del coque, se observa que este material esta entre los rangos acercándose más al límite superior, sin embargo, en el rango del tamiz 100 y 200 el coque petrolero no cumple con el rango establecido en la tabla de límites granulométricos, no obstante, a esto la granulometría es aceptable ya que los rangos de comparación son límites referenciales.

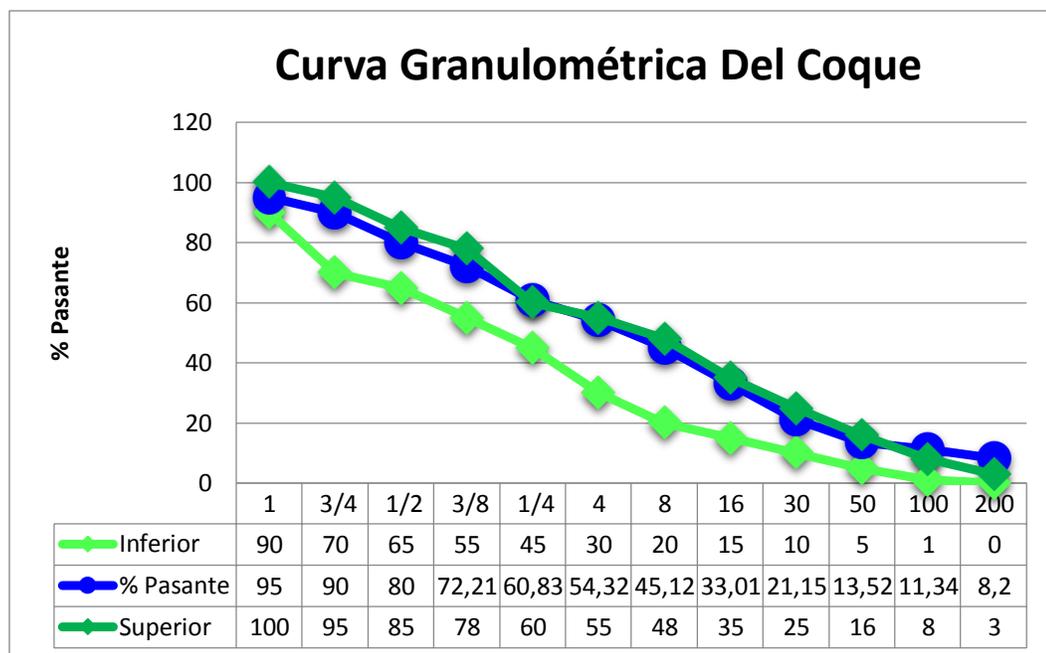


Grafico 1. Curva Granulométrica del coque
Fuente: autores (2018)

4.2 Diseño de Mezclas de concreto

Con esta actividad se logró el segundo objetivo de este proyecto de grado, el cual se realizó con el objeto de evaluar el comportamiento del coque petrolero utilizándolo como agregado fino en la preparación de mezclas de

concreto, se diseñaron 3 mezclas utilizando el método ACI 211,1-81 y los criterios y principios del manual de concreto estructural Porrero y Grases, una de ellas fue con agregado convencional (arena y piedra picada), para una resistencia de $F'c$ 250 kg/cm² y un asentamiento de 4 pulgadas, a la cual se le identificó como mezcla patrón.

Luego a las otras dos mezclas restantes se le reemplazo un porcentaje de agregado fino convencional (arena), por coque petrolero manteniendo la misma trabajabilidad de diseño de 4 pulgadas. Con cada uno de estos diseños se preparó en el laboratorio TECNISUCA mezclas de concreto fresco a las cuales se les evaluó la trabajabilidad en estado fresco y resistencia a la compresión en estado endurecido a las edades de 3,7 y 28 días.

4.2.1 Caracterización de los agregados

En todo diseño de mezcla lo primero que debe de hacerse es conocer las características de los agregados y esto se hace a través de ensayos tal cual como se conocieron las características del coque en el objetivo número 1, por lo que en esta sección se describe las características principales de los agregados convencionales (arena y piedra picada) obtenidos bajo los lineamientos de las normas COVENIN, necesarios para el cálculo del diseño de mezcla.

4.2.1.1 Contenido de humedad

Tabla 20 Contenido de humedad de la arena

Humedad	
Nº DE TARA	07
PESO SUELO Wº + TARA	195,6
PESO SUELO SECO + TARA	195,0
AGUA	0,6
PESO DE TARA	77,2
PESO DE SUELO SECO	117,8
% Wº	0,5

Fuente: Autores (2018)

Tabla 21. Contenido de humedad de la piedra

Humedad	
Nº DE TARA	64
PESO SUELO W ^o + TARA	172,7
PESO SUELO SECO + TARA	172,6
AGUA	0,1
PESO DE TARA	34,4
PESO DE SUELO SECO	138,2
% W ^o	0,1

Fuente: Autores (2018)

4.2.1.2 Peso unitario

Tabla 22. Peso unitario suelto de la arena y de la piedra

Nº	Peso del molde (kg)	Volumen molde (m ³)	Peso de la muestra + molde (arena) kg	Peso de la muestra + molde (piedra) kg	Peso unitario suelto arena (kg)	Peso unitario suelto piedra (kg)
1	7,295	3,200	12,202	11,565	1,533	1,334
2	7,295	3,200	12,218	11,538	1,538	1,326
3	7,295	3,200	12,250	11,546	1,548	1,328
4	7,295	3,200	12,194	11,550	1,531	1,330
5	7,295	3,200	12,223	11,573	1,540	1,337
Promedio					1,538	1,331

Fuente: Autores (2018)

Tabla 23. Peso unitario compacto de la arena y de la piedra

Nº	Peso del molde (kg)	Volumen molde (m ³)	Peso de la muestra + molde (arena) kg	Peso de la muestra + molde (piedra) kg	Peso unitario compacto arena (kg)	Peso unitario compacto piedra (kg)
1	7,295	3,200	12,874	11,998	1,743	1,470
2	7,295	3,200	12,844	12,007	1,734	1,473
3	7,295	3,200	12,896	12,030	1,750	1,480
4	7,295	3,200	12,870	12,028	1,742	1,479
5	7,295	3,200	12,901	12,006	1,752	1,472
Promedio					1,744	1,475

Fuente: Autores (2018)

4.2.1.3 Peso Específico

Tabla 24. Peso específico y absorción de la piedra

Nombre	Datos
Peso del recipiente	117,1
Peso de muestra saturada superficie seca + recipiente	890,7
Peso neto de la muestra saturada superficie seca	773,6
Peso neto de la muestra saturada superficie seca (sumergida)	475,7
Peso de la muestra seca + recipiente	879,2
Peso neto de la muestra seca	762,1
Peso del agua absorbida	11,5
Peso de agua desalojada	297,9
Volumen neto de la masa	286,4
Peso específico de la masa (kg)	2,558
Peso específico aparente	2,661
Peso específico de la masa saturada superficie seca (kg)	2,597
% Absorción	1,5

Fuente: autores (2018)

Tabla 25. Peso específico y absorción de la arena

Nombre	Datos
Peso de recipiente # 1	91,2
Matraz + muestra saturada superficie seca	165,7
Peso muestra saturada Superficie seca	74,5
Temperatura de ensayo	28
Matraz + agua destilada (calibrada)	216,6
Peso agua contenida en matraz	125,4
Peso matraz + agua + muestra	261,8
Peso de agua utilizada	96,1
Agua desalojada	29,3
Peso de recipiente #2	119,3
Peso muestra seca + recipiente	192,7
Peso neto muestra seca	73,4
Agua absorbida	1,1
Peso específico de la masa (kg)	2,505
Peso específico saturada superficie seca (kg)	2,543
Peso específico aparente (kg)	2,642
% Absorción	1,5

Fuente: Autores (2018)

Tabla 26. Resumen de los resultados del peso específico y el porcentaje de absorción de la arena y de la piedra

Peso	Resultado de la arena	Resultado de la piedra
Peso específico de la masa	2,505 kg/ml	2,558 kg/ml
Peso específico aparente	2,543 kg/ml	2,661 kg/ml
Peso específico de la masa Sat. Sup. Seca	2,603 kg/ml	2,597 kg/ml
Porcentaje de absorción	1,5 %	1,5 %

Fuente: autores (2018)

4.2.1.4 Granulometría

Tabla 27. Granulometría de la arena

Tamiz N°	Peso retenido (gramos)	% Retenidos	% Que pasa	Límite inferior	Límite superior
½	6,70	0,60	99,40	95	100
3/8	19,30	1,68	98,32	90	100
¼	49,50	4,30	95,70	85	98
4	69,50	6,04	93,96	80	95
8	128,20	11,10	88,90	75	90
16	333,90	28,90	71,10	55	75
30	513,30	44,40	55,60	40	68
50	720,30	62,30	37,70	35	45
100	916,00	79,30	20,70	10	30
200	1067,40	92,40	7,60	0	8

Fuente: Autores (2018)

➤ Módulo de Finura de la arena

Para el cálculo del módulo de finura, se hizo mediante la Ec. 1 descrita en la sección 2.2.7.4 de este trabajo de grado, es cual no indica el grosor o finura del agregado fino:

$$Mf = \frac{0,6 + 1 + 2,6 + 4,3 + 11,1 + 28,9 + 44,4 + 62,3 + 79,3}{100}$$

$$Mf = 2,35$$

Tabla 28. Granulometría del coque petrolero

Coque						
2.000 g			Limites Granulométricos			
Tamiz Nº	Peso Retenido (g)	Peso retenido acum. (g)	% retenido	% Pasante	Inferior	Superior
3/8	86,5	86,50	4,33	95,67	90	100
¼	140,5	227,00	11,35	88,65	85	98
4	123,3	350,30	17,52	82,48	75	95
8	260,9	611,20	30,56	69,44	60	90
16	282,7	893,90	44,70	55,3	40	80
30	303,7	1.197,60	59,88	40,12	20	60
50	412,6	1.610,20	80,51	19,49	8	30
100	50,0	1.660,2	83,01	16,99	2	10
200	55,6	1.715,8	85,79	14,21	0	5

Fuente: autores (2018)

➤ Módulo de Finura del coque

El módulo de finura dio una idea del grosor o finura del coque petrolero, el cual se calculó con la Ec. 1. Tal cual como se describe en la sección 2.2.7.4 de este trabajo de grado, de la siguiente manera:

$$MF = \%retenido_{acumulado} \frac{4,33+11,35+17,52+30,56+44,70+59,88+80,51+83,01+85,79}{100}$$

$$MF = 3,32$$

Tabla 29. Granulometría de la piedra

Tamiz Nº	Peso retenido (gramos)	% Retenidos	% Que Pasa	Límite inferior	Límite superior
1"	1.255,00	22,94	77,6	70	100
½"	5.157,00	92,20	7,90	6	75
4	5.590,00	99,90	0,10	0	10

Fuente: Autores (2018)

Para efectos de este proyecto como la finalidad es sustituir un porcentaje de agregado fino, es decir el coque petrolero se utilizará como un sustituto de la arena, se realizó una nueva granulometría al coque petrolero, pero esta vez pasando este material por el tamiz 40; con la finalidad de eliminar toda partícula gruesa del coque petrolero y solo ubicar las partículas

finas, es decir para obtener nuevos datos tratando el coque petrolero netamente como un agregado fino.

4.2.1.4 Curva Granulométrica

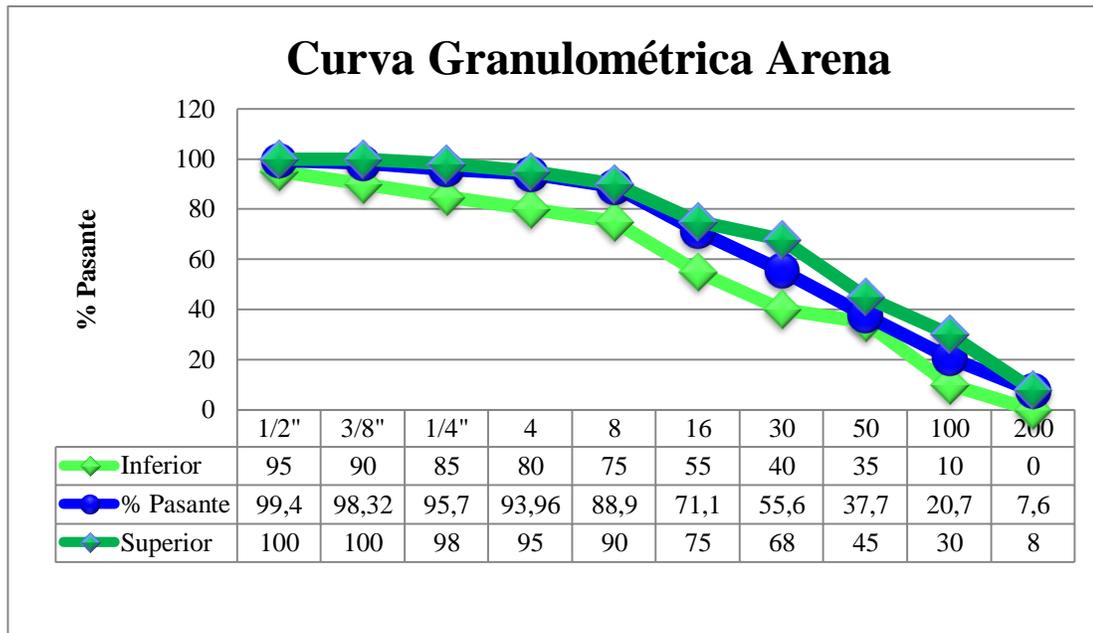


Grafico 2. Curva Granulométrica de la arena
Fuente: autores (2018)

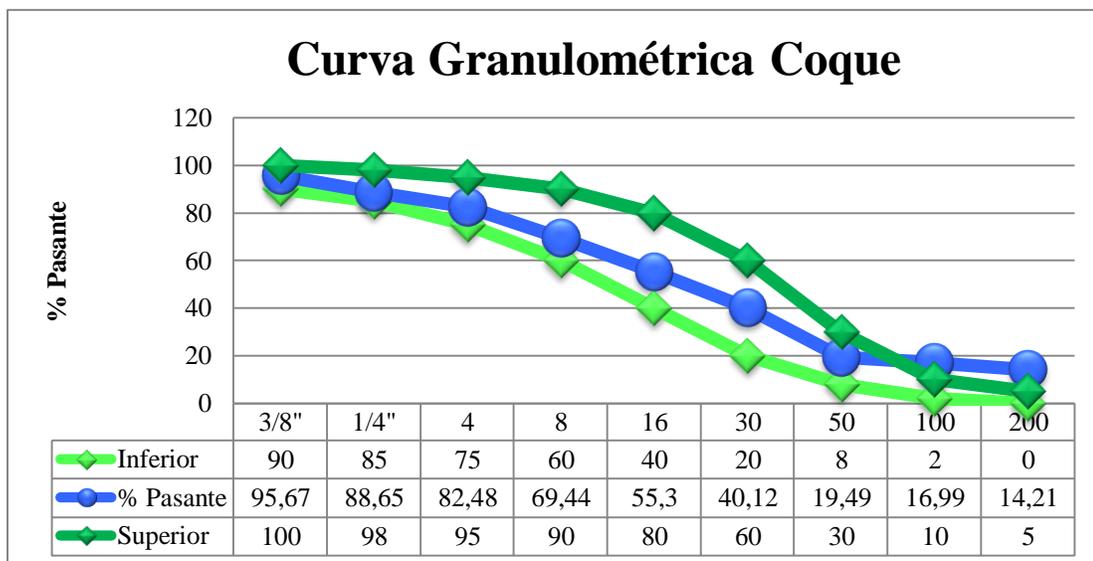


Grafico 3. Curva Granulométrica Coque
Fuente: autores (2018)

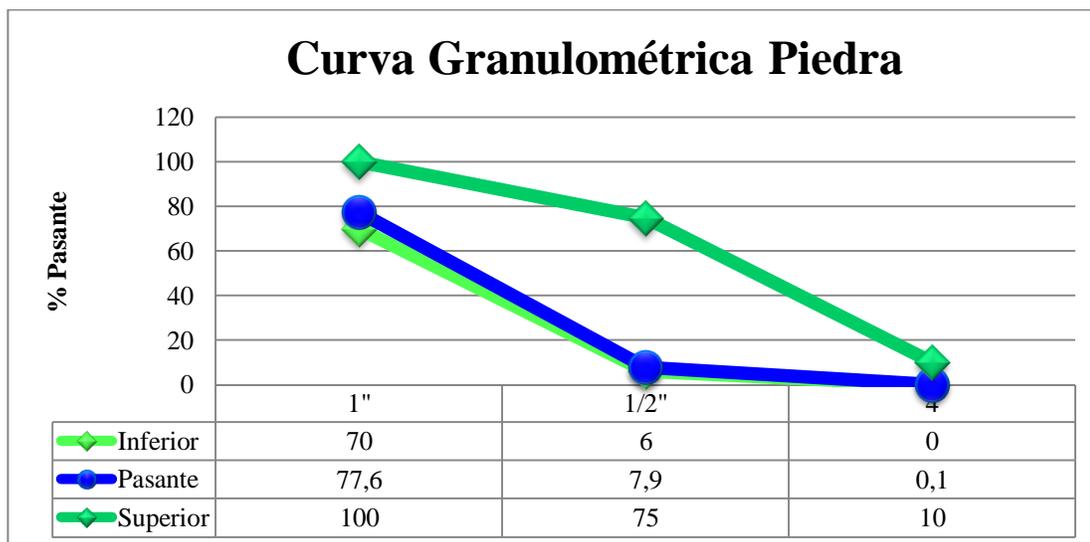


Grafico 4. Curva Granulométrica Piedra
Fuente: autores (2018)

De acuerdo a los gráficos presentados se puede visualizar claramente que los agregados seleccionados para el diseño de mezcla propuesto están dentro de los límites granulométricos, a pesar que el coque petrolero en el tamiz 100 y 200 está por encima de los límites superior como inferior no afecta en ningún caso, esto se le atribuye al módulo de finura ya que este se encuentra en 41% por encima de la arena utilizada.

4.3 Diseño de mezcla patrón

La mezcla patrón se diseñó con agregados convencionales el agregado fino (arena) tiene un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ " y el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 1", los restantes componentes fueron cemento gris tipo 1 portland compuesto y agua libre de impurezas. La resistencia definida fue de 250 kgf/cm^2 , con un asentamiento de 4". Esta mezcla patrón se le denominó **MP**.

Siguiendo el procedimiento correspondiente del método ACI 211,1-81 y los parámetros establecidos en el Manual del Concreto Estructural de Porrero y Grases, MP quedó diseñada de la siguiente manera:

quedo diseñada de la siguiente manera:

Tabla 30. Características de los agregados mezcla MP

Características	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño	1/2"	1"
Módulo de Finura	2,35	
Peso Específico (kg)	2,505	2,558
% Absorción	1,5%	1,5%
Peso Unitario Suelto (kg)	1,538	1,331
Peso Unitario Compacto (kg)	1,475	1, 744

Fuente: Autores (2018)

➤ **1. Selección de la resistencia promedio requerida a partir de la resistencia en compresión especificada.**

Ya que no se contaba con registros de ensayos previos de concretos similares, se usó la tabla N° 3 descrita en la sección 2.2.13.1 del presente trabajo de grado, para obtener la resistencia promedio requerida (f'_{cr}), considerando que la resistencia a compresión del concreto es de 250 kg/cm²:

Entonces:

$$F'_{cr} = 250 \text{ kg/cm}^2 + 84$$

$$F'_{cr} = 334 \text{ Kg/cm}^2$$

➤ **2. Contenido de aire**

Para el cálculo del contenido del aire atrapado de la mezcla se utilizó la tabla N° 5 de la sección 2.2.13.1 el cual se considera de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, que en este caso es de 1" por lo tanto el aire atrapado es de 1,5%

➤ **3. Contenido de agua**

El contenido de agua requerido para este diseño se calculó de acuerdo a la sección 2.2.13.1. El cual fue seleccionado de la tabla N° 6 tomando en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el asentamiento y el tipo de concreto. Para este caso el asentamiento de diseño fue de 4", como el agregado grueso es de 1" los litros de agua correspondientes son de 193 litros.

➤ **4. Relación agua cemento**

Para obtener la relación agua/cemento, se tomaron en cuenta los criterios de selección por resistencia, usando la tabla 7 de la sección 2.2.13.1. Considerando que la resistencia a compresión media del concreto es 334 kg/cm^2 y que no tiene aire incorporado. Con los dos valores obtenidos, se realizó una interpolación con la siguiente fórmula:

$$\frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} = \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1}$$

Ec.52

$$Y_2 - Y_1 = \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} \times Y_3 - Y_1$$

Ec.53

$$Y_2 = Y_1 + \frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} \times Y_3 - Y_1$$

Ec. 54

Tabla 31. Valores para interpolación

X	Y
$X_1 = 350$	$Y_1 = 0,48$
$X_2 = 334$	$Y_2 = \text{Relación } A_c \text{ para } f'_{cr} 334 \text{ kg/cm}^2$
$X_3 = 300$	$Y_3 = 0,55$

Fuente: Autores (2018)

Sustituyendo la ecuación 54 se tiene:

$$Y_2 = 0,48 + \frac{334 - 350}{300 - 350} \times 0,55 - 0,48$$

$$Y_2 = 0,5024$$

Por lo tanto la relación agua cemento $A_c = 0,50$

➤ **5. Contenido de cemento**

El contenido de cemento necesario se calcula de acuerdo a la Ec. 5 descrita en la sección 2.2.13.1, mientras que el factor de c se calculó haciendo uso de la Ec.5.1, el cual indica cuantos sacos de cemento se deberá de utilizar para preparar 1m^3 de concreto.

$$c = \frac{193}{0,50} = 386 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor C: } \frac{386}{42,50} = 9,08 \cong 9 \text{ sacos}$$

Para el cálculo del volumen absoluto de cemento se utilizó la Ec, 5,2

$$\text{VC} = 386 \times 0,29 = 111,94 \text{ l/m}^3$$

➤ 6. Peso del agregado Grueso

Para determinar el contenido del agregado grueso se utilizó la tabla 8 con los datos del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino, obteniendo un coeficiente b/b_0 , el que fue multiplicado por el peso unitario seco varillado del agregado grueso, Obteniendo el peso seco del agregado grueso. Para obtener el b/b_0 para el módulo de finura de 2.35. Se interpoló.

Tabla 32. Valores para interpolación

X	Y
$X_1 = 2,40$	$Y_1 = 0,71$
$X_2 = 2,35$	$Y_2 = b/b_0$
$X_3 = 2,60$	$Y_3 = 0,69$

Fuente: Autores (2018)

Aplicando la ecuación 54 se tiene:

$$\frac{b}{b_0} = 0,71 + \frac{2,35 - 2,40}{2,60 - 2,40} \times 0,69 - 0,71$$

$$\frac{b}{b_0} = 0,72$$

En efectos de teoría con este valor la cantidad de agregados gruesos es excesiva por lo que la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero, es decir ocurriría el fenómeno de segregación, Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil", Por lo que se procedió a disminuirlo en un 10% para evitar obtener un concreto con características anteriormente mencionadas,

$$0,72 - 0,72 \times 10\% = 0,65 \longrightarrow 650 \text{ kg/m}^3.$$

Luego de obtener este nuevo valor de $\frac{b}{b_0}$ se multiplica por el peso unitario del agregado grueso tal cual se indica en la Ec. 6:

$$PS = 650 \times 1,475 = 958,75 \text{ kg } m^3$$

Con esto se obtuvo el peso seco del agregado grueso necesario en un m^3 .

➤ 7. Volumen absoluto de los agregados

En la determinación del agregado grueso se utilizó la Ec. 7, la cual determina el volumen del agregado grueso:

$$VAG = \frac{958,75}{2,558} = 374,80 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto de agregado fino es igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos tal como se indica en Ec. 8.

Tabla 33. Resumen de volúmenes

Volumen (m^3)	Resultado
Volumen De Agregado Grueso (VAG)	374,80
Volumen De Cemento (VC)	111,94
Volumen De Aire (VAI)	0,015
Volumen De Agua (VA)	193,00

Fuente: Autores (2018)

$$VAF = 1.000 - (193 + 0,015 + 111,94 + 374,80)$$

$$VAF = 1.000 - 679,76$$

$$VAF = 320,24 \text{ l } m^3$$

Por consiguiente, el peso seco del agregado fino es calculado mediante la ecuación 9:

$$Peso \text{ a. fino} = 320,24 * 2,505$$

$$Peso \text{ a. fino} = 802,20 \text{ kg } m^3$$

Tabla 34. Resumen de la mezcla MP

Cantidad (m ³)	Peso (kg)	Volumen (l)
Cemento	386,00	111,94
Agua	193,00	193,00
Arena	802,20	320,24
Agregado Grueso	958,75	374,80
Aire	-----	0,015
Totales	2.339,95	1000,00

Fuente: Autores (2018)

4.3.1 Corrección por humedad

Para la corrección de humedad se procedió a calcular nuevamente la humedad tanto para el agregado grueso como para el agregado fino, y posteriormente realizar la corrección por humedad.

Tabla 35. Humedad de la piedra y de la arena

Humedad	Piedra	Arena
Peso suelo w ⁰ + tara	727,9	686,7
Peso suelo seco + tara	726,5	684,7
Agua	1,4	2
Peso de tara	75,3	68,5
Peso de suelo seco	651,2	616,2
% W ⁰	0,21	0,32

Fuente: Autores (2018)

➤ Determinación de pesos húmedos

Para corregir las proporciones de los materiales en función de las condiciones de humedad de los agregados, se utilizaron las siguientes fórmulas Ec, 10 y Ec, 11:

$$\text{Peso A. Grueso Humedo kg} = 958,75 * 1 + \frac{0,21}{100} = 960,76 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso A. Fino Humedo kg} = 802,20 * 1 + \frac{0,32}{100} = 804,77 \text{ kg/m}^3$$

➤ Aporte de humedad

El aporte de humedad se calculó según la Ec. 12 y Ec. 13.

$$X = A. h \text{ Agregado grueso } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 958,75 * \frac{0,21 - 1,5}{100} = -12,37$$

$$Y = A. h \text{ Agregado Fino } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 802,20 * \frac{0,32 - 1,5}{100} = -9,47$$

➤ **Agua Efectiva**

El agua efectiva se determinó restando del volumen unitario de agua, la suma de los aportes de humedad de los agregados finos y gruesos, tal cual describe la Ec. 14.

$$\text{Agua Efectiva } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 193 - -12,37 - 9,47 = 214,84$$

Entonces los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Tabla 36. Pesos de los materiales ya corregidos de la MP

Material	Peso
Cemento kg/m ³	386,00
Agua efectiva l/m ³	214,84
Agregado fino húmedo kg/m ³	804,77
Agregado grueso húmedo kg/m ³	960,76

Fuente: Autores (2018)

➤ **Determinación de la proporción en peso de diseño**

Para determinar la proporción de los materiales se hizo uso de la Ec, 15, la cual describe que se divide los pesos de los materiales entre el peso del cemento

$$\frac{386 \text{ kg}}{\text{m}^3} : \frac{960,76 \text{ kg}}{\text{m}^3} : \frac{804,77 \text{ kg}}{\text{m}^3} / \frac{214,84 \text{ lt}}{9 \text{ m}^3} \quad \frac{\text{lt}}{\text{bolsa}}$$

$$1: 2,5: 2,1/23,87$$

4.4 Diseño de mezcla con coque petrolero

A la MP se le reemplazó un porcentaje del agregado fino por coque petrolero, a esta mezcla con coque petrolero la cual se denominó mezcla MCP-1 se diseñó con un 50% de coque petrolero y MCP-2 con un 30% de coque petrolero.

Estas dos mezclas se diseñaron siguiendo el mismo procedimiento y especificaciones que la MP.

4.4.1 Mezcla MCP-1

Esta mezcla fue el segundo diseño realizado en la cual se le sustió el 50 % del agregado fino quedando establecida de la siguiente manera:

50% arena y 50% coque petrolero.

Siguiendo el procedimiento correspondiente del método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grases, la mezcla MCP-1 quedo diseñada de la siguiente manera:

Tabla 37. Características de los agregados, MCP-1

Características	Agregado Fino	Agregado Grueso	Coque Petrolero
Tamaño	½"	1"	3/8
Módulo de finura	2,35		3,32
Peso específico (kg)	2,505	2,558	1,161
%Absorción	1,5	1,5	4,43
Peso U, Suelto (kg)	1,538	1,331	0,835
Peso U, Compuesto (kg)	1,475	1, 744	0,951

Fuente: Autores (2018)

En este diseño de mezcla lo único que varió con respecto a la MP fue el contenido de agregado fino por lo tanto se describe a continuación el procedimiento establecido para calcular el diseño a partir del volumen del agregado fino,

En el cálculo del primer diseño el cual es el de la MP el volumen de agregado fino fue de:

$$VAF = 320,24 \text{ l m}^3 ,$$

A Dicho volumen se le calculo el 50% la cual era la cantidad que se le reemplazo por coque petrolero,

$$320,24 \times 50\% = 160,12$$

Por lo tanto $160,12 \text{ l m}^3$ se le resto al VAF de la mezcla patrón de la siguiente manera:

$$320,24 - 160,12 = 160,12 \text{ l m}^3$$

De acuerdo al resultado anterior entonces $160,12 \text{ l m}^3$, es la cantidad en volumen que tendrá este diseño de coque petrolero,

Luego de esto se procedió a calcular el nuevo peso que tendrá el agregado fino tanto en arena como en coque petrolero esto se hizo multiplicando ambos volúmenes de agregado por su respectivo peso específico.

$$\text{Peso de arena} = 160,12 * 2,505 = 401,10 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de coque petrolero} = 160,12 * 1,161 = 185,90 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 38. Resumen de la MCP-1

Cantidad m3	Peso (kg)	Volumen (l)
Cemento	386,00	111.94
Agua	193,00	193,00
Arena	401.10	160.12
Coque	185.90	160.12
Agregado G.	958.75	374.80
Aire		0.015
Totales	2124.75	1000.0

Fuente: Autores (2018)

4.4.2 Mezcla MCP-2

Este fue el tercer diseño de mezcla empleado, en este diseño solo se le reemplazo el 30% de arena quedando el diseño de la siguiente manera:

70% Arena y 30% coque petrolero

Se realizó el mismo procedimiento empleado en el cálculo de la mezcla MCP-1, el resumen de la mezcla se presenta en la tabla 44.

$$VAF = 320,24 \text{ l m}^3$$

$$320,24 \times 30\% = 96,07$$

$$320,24 - 96,07 = 224,17 \text{ l m}^3$$

$$\text{Peso de arena} = 224,17 * 2,505 = 561,55 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de coque petrolero} = 96,07 * 1,161 = 111,54 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 39. Resumen de la mezcla MCP-2

Cantidad m3	Peso (kg)	Volumen (l)
Cemento	386	111.94
Agua	193	193
Arena	561.55	224.17
Coque	111.54	96.07
Agregado G.	958.75	374.8
Aire		0.015
Totales	2210.84	1000.0

Fuente: autores (2018)

4.4.3 Corrección por humedad para las mezclas MCP-1 Y MCP-2

Para la corrección de estas dos mezclas en función de las condiciones de humedad de los agregados, se utilizaron los mismos criterios y especificaciones de la MP realizando los cálculos pertinentes de acuerdo a las fórmulas requeridas.

Tabla 40. Humedad del coque

Humedad	
Peso suelo w ⁰ + tara	105,8
Peso suelo seco + tara	105,2
Agua	0,6
Peso de tara	31,5
Peso de suelo seco	73,7
% W ⁰	0,81

Fuente: Autores (2018)

➤ Determinación de pesos húmedos

En este cálculo fue necesario solo calcular el peso de la arena y del coque petrolero ya que el peso seco de la piedra fue calculado en la corrección por humedad de la mezcla patrón en la sección 4.3.1, y para efectos de esta investigación este peso no varía. Para este cálculo se hizo uso de la fórmula Ec. 11,

✓ MCP-1:

$$\text{Peso A. Fino Humedo arena kg} = 401,10 * 1 + \frac{0,32}{100} = 402,38$$

$$\text{Peso A. Fino Humedo coque kg} = 185,90 * 1 + \frac{0,81}{100} = 187,41$$

✓ **MCP-2:**

$$\text{Peso A, Fino Humedo arena kg} = 561,55 * 1 + \frac{0,32}{100} = 563,35$$

$$\text{Peso A. Fino Humedo coque kg} = 111,54 * 1 + \frac{0,81}{100} = 112,44$$

➤ **Aporte de humedad**

El aporte de humedad se calculó según la Ec. 13.

✓ **MCP-1:**

$$Y = A, h \text{ Agregado Fino arena } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 401,13 * \frac{0,32 - 1,5}{100} = -4,73$$

$$Y = A, h \text{ Agregado Fino coque } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 185,90 * \frac{0,81 - 4,43}{100} = -6,73$$

✓ **MCP-2:**

$$Y = A, h \text{ Agregado Fino arena } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 561,55 * \frac{0,32 - 1,5}{100} = -6,63$$

$$Y = A, h \text{ Agregado Fino coque } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 111,54 * \frac{0,81 - 4,43}{100} = -4,04$$

➤ **Agua Efectiva**

El agua efectiva se determinó mediante la fórmula Ec. 14, restando del volumen unitario de agua, la suma de los aportes de humedad de la piedra arena y coque.

✓ **MCP-1:**

$$\text{Agua Efectiva } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 193 - (-12,37 - 4,73 - 6,73) = 216,83$$

✓ **MCP-2:**

$$\text{Agua Efectiva } \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} = 193 - (-12,37 - 6,63 - 4,04) = 216,04$$

De acuerdo a los cálculos realizados los pesos de los materiales ya corregidos son:

Tabla 41. Pesos de los materiales ya corregidos de la MCP-1

Material	Peso
Cemento (kg/m ³)	386,00
Agua Efectiva (l/m ³)	216,83
Agregado Fino Húmedo (kg/m ³)	402,41
Coque petrolero Húmedo (kg/m ³)	187,41
Agregado Grueso Húmedo (kg/m ³)	960,76

Fuente: Autores (2018)

Tabla 42. Pesos de los materiales ya corregidos de la MCP-2

Material	Peso
Cemento (kg/m ³)	386
Agua Efectiva (l/m ³)	216,04
Agregado Fino Húmedo (kg/m ³)	563,35
Coque petrolero Húmedo (kg/m ³)	112,44
Agregado Grueso Húmedo (kg/m ³)	960,76

Fuente: Autores (2018)

➤ **Determinación de la proporción en peso de diseño**

Para determinar la proporción de los materiales de las mezclas MCP-1 y MCP-2 se siguió el mismo procedimiento de la mezcla patrón haciendo uso de la Ec. 15:

✓ **MCP-1**

$$\frac{386 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{960,76 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{402,41 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{187,41 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} / \frac{216,83 \text{ lt}}{9} \frac{\text{m}^3}{\text{bolsa}}$$

1: 2,5: 1,04: 0,5/24, 09

✓ **MCP-2**

$$\frac{386 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{960,76 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{563,35 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} : \frac{112,44 \text{ kg}}{386 \text{ kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} / \frac{216,04 \text{ lt}}{9} \frac{\text{m}^3}{\text{bolsa}}$$

1: 2,5: 1,5: 0,3/24

4.5 Dosificación de los materiales

Para efectos de este trabajo de grado se elaboraron 18 cilindros con un porcentaje de desperdicio del 10% incluyendo el volumen utilizado en el ensayo de asentamiento, y conocido el volumen requerido para la

elaboración de los mismos ($0,040\text{m}^3$), se determinó el peso de cada uno de los materiales utilizados, a través de la relación obtenida para 1 m^3 a cada uno de los materiales involucrados para elaborar las 3 mezclas presentadas; tal cual se muestra en la tabla 43.

Tabla 43. Dosificación de los materiales

Componente	Dosificación para 1000 litros (1 m^3)			Dosificación para 40 litros ($0,040\text{ m}^3$)		
	MP	MCP-1	MCP-2	MP	MCP-1	MCP-2
Cemento (kg)	386,00	386,00	386	15,44	15,44	15,44
Agua (lts)	214,84	216,83	216,04	8,59	8,67	8,64
Piedra (kg)	960,76	960,76	960,76	38,43	38,43	38,43
Arena (kg)	804,77	402,41	563,35	32,19	16,10	22,53
Coque Petrolero (kg)		187,41	112,44		7,50	4,50
Aire (lts)	0,015	0,015	0,015	0,0006	0,0006	0,0006

Fuente: Autores (2018)

4.6 Mezclado del concreto

Al momento de llevar a cabo la preparación de la mezcla, se tomó en cuenta la Norma Venezolana COVENIN 354 – 2001 “Concreto, Método para Mezclado en el Laboratorio”, donde se toman en cuenta los métodos para el mezclado del concreto en laboratorio, a mano o en máquina.

El procedimiento que se siguió en el laboratorio para la mezcla patrón y las mezclas con coque petrolero 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 un trompo con capacidad de 40 litros, con las cantidades exactas de cada material para obtener el concreto necesario.

A cada una de las mezclas MP, MCP-1 y MCP-2 se les midió la temperatura y el asentamiento con el cono de Abrams.

El mezclado se realizó con el siguiente procedimiento:

1. Pesada del Cemento y los agregados
2. Pre-humedecimiento de la parte interna del trompo mezclador.
3. Colocación de los materiales en el trompo Mezclador en movimiento, con el siguiente orden:

➤ **MP**

- ✓ El 100 % de la piedra picada
- ✓ Un 75% del agua de mezclado
- ✓ El 100% de arena
- ✓ El 100% del cemento
- ✓ El 25% del agua restante

➤ **MCP-1 y MCP-2**

- ✓ El 100 % de la piedra picada
- ✓ El 50% del coque petrolero
- ✓ Un 75% del agua de mezclado
- ✓ El 100% de arena
- ✓ El 50% del coque restante
- ✓ El 100% del cemento
- ✓ El 25% del 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,

4.7 Medición de temperatura

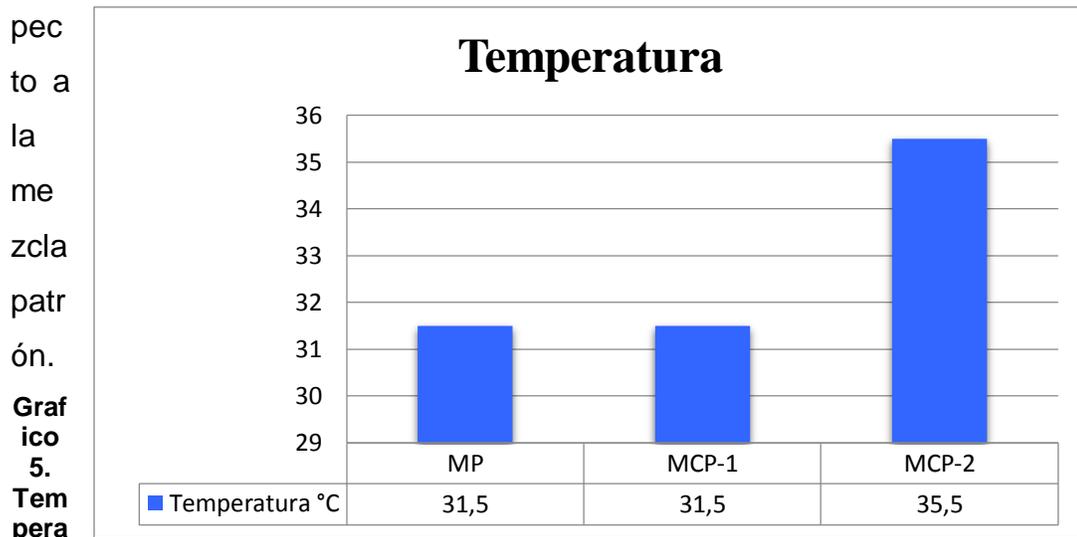
La temperatura del concreto fresco depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente.

En esta actividad al concreto fresco se colocó el dispositivo de medición de temperatura de modo que quedara sumergido al menos 75 mm en el concreto recién mezclado y posteriormente se presionó suavemente el concreto alrededor del vacío que deja la inmersión del aparato hasta cerrarlo de modo de evitar que la temperatura del aire afectara el resultado tal cual como se muestra en la figura 12. Todo este procedimiento se realizó bajo los principios de la norma ASTM C 1064.



Figura 12. Medición de la temperatura
Fuente: autores (2018)

Los resultados de las diversas tomas de temperatura a cada una de las mezclas realizadas se describen en el gráfico 5. En el cual se hizo la comparación de la temperatura de las 2 mezclas con coque petrolero con res



temperatura de las mezclas
Fuente: autores (2018)

En el gráfico anterior se puede deducir que al agregar coque petrolero a la mezcla convencional de concreto no hubo una variación de temperatura, esto se puede ver claramente en el gráfico presentado con respecto a la mezcla patrón y la mezcla MCP-1 la cual es la mezcla que contiene mayor cantidad de coque petrolero, sin embargo hubo un aumento de temperatura en la mezcla MCP-2; se infiere que esta variación de temperatura no pudo haber sido consecuencia del coque petrolero ya que esta mezcla es la que menor contenido de coque petrolero tiene, por lo que esta variación se le puede atribuir al aumento de temperatura ambiental debido a la hora de la preparación de la mezcla.

4.8 Medición del asentamiento con el Cono de Abrams

Para la medición del asentamiento del concreto fresco se utilizó el Cono de Abrams, tomando en cuenta el procedimiento indicado en la Norma Venezolana COVENIN 339 – 1994 “Concreto, Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”

El procedimiento realizado fue el siguiente:

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 fueron 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 los recomendados por la 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.

Tal como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Medición del asentamiento
Fuente: autores (2018)

Los resultados obtenidos de dicho ensayo, para cada mezcla de esta investigación fueron los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 44. Resultados de Asentamientos

Mezcla	Asentamiento (plg)	Asentamiento (cm)
MP	6	15,24
MCP-1	5 ¼	13,34
MCP-2	5	12,7

Fuente: Autores (2018)

El asentamiento obtenido en cada uno de las 3 mezclas diseñadas superó al asentamiento de diseño, lo que corrobora que se cumplió con las especificaciones requeridas. Ahora en cuanto al asentamiento obtenido entre las 2 mezclas que contienen coque petrolero la **MCP-1** es la que mayor

asentamiento obtuvo, estas apreciaciones se pueden observar mediante el siguiente gráfico:

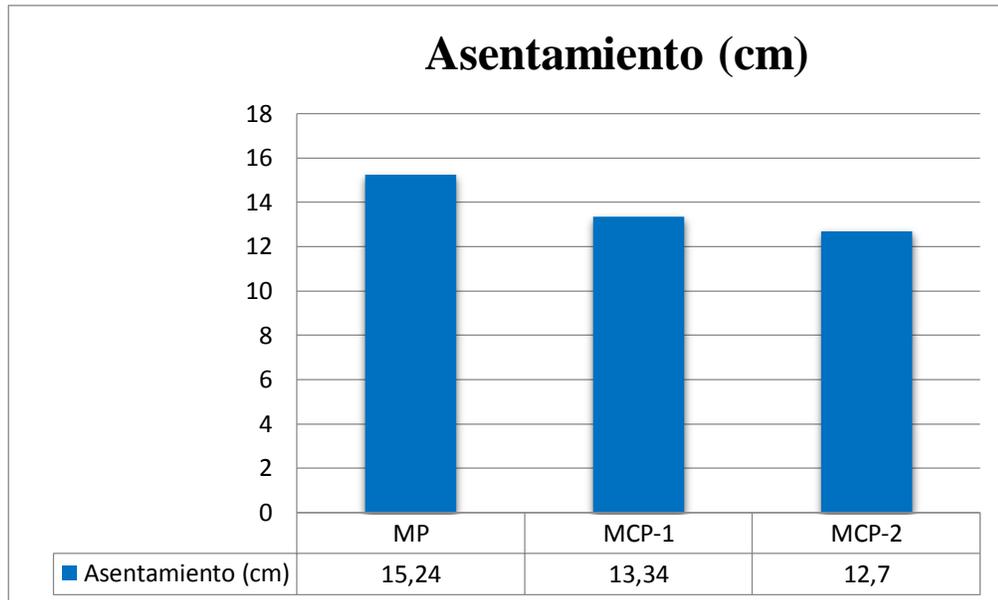


Gráfico 6. Comparación de asentamientos
Fuente: autores (2018)

4.9 Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto

Para la elaboración de las probetas cilíndricas, se siguió el procedimiento que indica la Norma Venezolana COVENIN 338 – 2002 “Concreto, Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, antes de la preparación de cada mezcla, los cilindros se limpiaron y aceitaron en su parte interior y base, dicho procedimiento se llevó a cabo antes de cada vaciado.

Es decir, llenando moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro y de 30 cm de altura previamente lubricados para evitar la adherencia del concreto a los mismos, en una secuencia de 3 capas compactadas por 25 golpes cada una con la barra normalizada. Seguidamente se enrasaron las probetas con la misma barra de manera que la superficie quedara suficientemente lisa y al ras con el borde del molde.

De cada una de las mezclas se elaboraron 6 probetas cilíndricas de concreto, en total se prepararon 18 probetas cilíndricas, las cuales fueron ensayadas a la resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días. Las probetas se desencofraron pasadas las 24 horas después de ser confeccionadas y se inició el proceso de curado sumergiendo los cilindros debidamente identificados en un tanque de agua limpia hasta el momento del ensayo a compresión. Como se muestra en la figura 14.



Figura 14. Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto
Fuente: autores (2018)

4.10 Peso unitario del concreto endurecido

Esta actividad se realizó previo al ensayo de compresión, a cada probeta cilíndrica cumplido su proceso de curado de acuerdo a la edad correspondiente se pesaron cada una de ellas como se muestra en la figura 15, para así luego obtener la densidad del concreto aplicando la fórmula Ec. 51.



Figura 15. Densidad del concreto
Fuente: autores (2018)

Previo a este cálculo se tuvieron que realizar otra serie de cálculos, tales como, el área y el volumen del cilindro para finalmente obtener el resultado de dicha propiedad correspondiente:

➤ **Área del cilindro**

Para el cálculo del área del cilindro se tomaron en cuenta las siguientes dimensiones de las probetas cilíndricas:

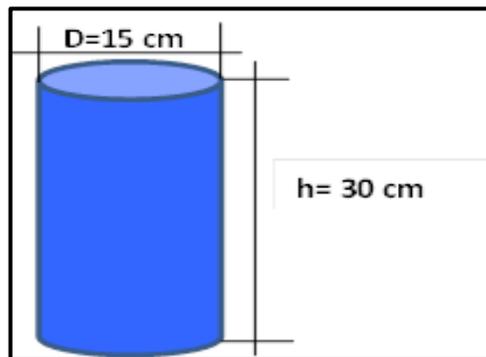


Figura 16. Dimensiones del cilindro
Fuente: Autores (2018)

El área del cilindro se calculó de acuerdo a la fórmula Ec. 53:

$$A = \frac{\pi}{4} 15^2 = 176,7 \text{ cm}^2$$

➤ **Volumen del cilindro**

Para el cálculo del volumen se aplicó la fórmula Ec. 52

$$V = 176,7 * 30 = 5.301 \text{ cm}^3$$

Para efectos de cálculo se hizo la conversión del volumen de cm^3 a m^3 , para poder realizar el cálculo de peso unitario ya que la unidad de esta propiedad es kg/m^3 dicha conversión se realizó de la siguiente manera:

$$5.301 \text{ cm}^3 * \frac{1\text{m}^3}{1.000.000 \text{ cm}^3} = 0,005301\text{m}^3$$

➤ **Peso unitario**

En este cálculo se aplicó la fórmula Ec. 51, y se realizó un solo cálculo tomando en cuenta los resultados del cilindro n° 1 el cual corresponde a la mezcla patrón con una edad de ensayo de 3 días, los otros resultados serán reflejados mediante una tabla por cada tipo de mezcla y edad de ensayo.

$$\rho = \frac{12,222}{0,005301} = 2,306 \text{ kg } \text{m}^3$$

➤ **MP**

Tabla 45. Resultados de Peso Unitario MP

Cilindro N°	Edad	Peso (kg)	Peso U. (kg/m3)
01	3 días	12.222	2306
02	3 días	12.188	2299
03	7 días	12.374	2334
04	7 días	12.269	2314
05	28 días	12.342	2328
06	28 días	12.320	2324

Fuente: autores (2018)

➤ **MCP-1**

Tabla 46. Resultados de peso unitario MCP-1

Cilindro N°	Edad	Peso (kg)	Peso U. (kg/m3)
07	3 días	11.405	2151
08	3 días	11.349	2141
09	7 días	11.295	2131
10	7 días	11.404	2151
11	28 días	11.386	2148
12	28 días	11.451	2160

Fuente: autores (2018)

➤ **MCP-2**

Tabla 47. Resultados de peso unitario MCP-2

Cilindro N°	Edad	Peso (kg)	Peso U. (kg/m3)
13	3 días	11.821	2230
14	3 días	11.826	2231
15	7 días	11.777	2222
16	7 días	11.785	2223
17	28 días	11.842	2234
18	28 días	11.966	2257

Fuente: autores (2018)

➤ **Promedio de los pesos unitarios**

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas anteriores se realizó el promedio de los pesos unitarios de los dos cilindros preparados de acuerdo a cada mezcla diseñada y a la edad correspondiente de ensayo, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 47.

Tabla 48. Promedio de peso unitario

Mezcla	Edad	Peso (Kg)	Peso U. Kg/m3
MP	3 días	12.205	2,302
	7 días	12.322	2,324
	28 días	12.331	2,326
MCP-1	3 días	11.377	2,146
	7 días	11.35	2,141
	28 días	11.419	2,154
MCP-2	3 días	11.824	2,231
	7 días	11.781	2,222
	28 días	11.904	2,246

Fuente: autores (2018)

Los valores reflejados en la tabla 47, fueron agrupados en un gráfico para obtener una comparación del peso unitario de una mezcla con respecto a la otra.

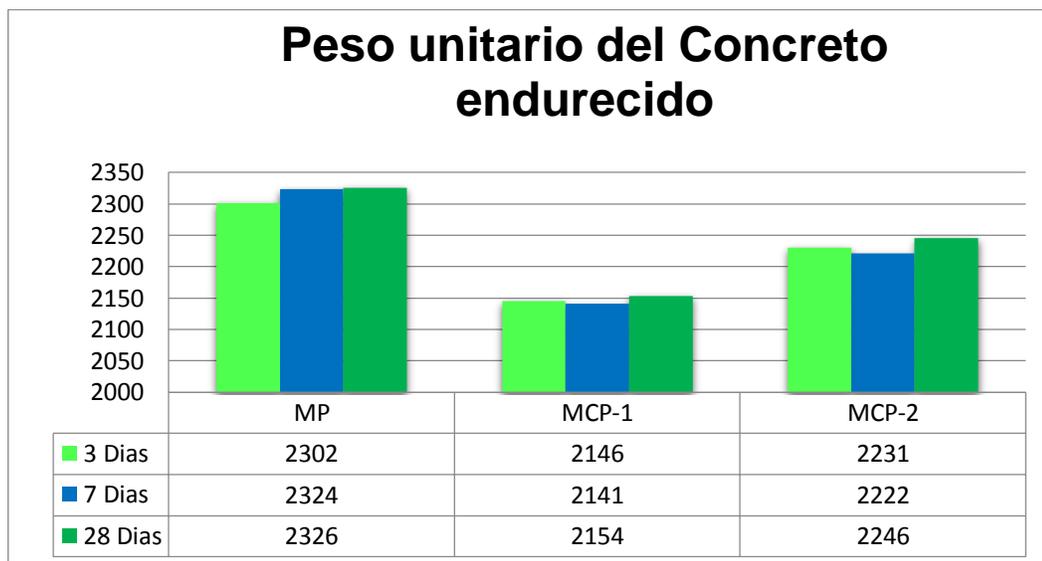


Gráfico 7. Comparación del peso unitario para las diferentes mezclas en sus 3 edades (3, 7 y 28 días)
Fuente: autores (2018)

Los valores del peso unitario del concreto dependen del tipo y proporción del agregado, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. En referencia al gráfico anterior, se puede visualizar claramente que el peso unitario de la mezcla patrón fue la más alta entre las 3 mezclas, en sus tres edades (3, 7 y 28 días) el peso unitario disminuyó en la mezcla con mayor porcentaje de sustitución de coque en el agregado fino.

Otro punto apreciado es que las mezclas MCP-1 y MCP-2 a los 7 días sus pesos unitarios disminuyeron con respecto al alcanzado a los 3 días, sin embargo, a su edad máxima aumentó, pero aun así se mantuvieron por debajo de la mezcla patrón.

La mezcla que obtuvo el peso unitario más bajo en sus 3 edades de ensayo fue la que mayor contenido de coque petrolero tiene, es decir, la MCP-1, lo que se puede deducir que al añadir coque petrolero como agregado sustentable se obtienen concretos más livianos.

4.11 Ensayo a Compresión

La resistencia a la compresión es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad. Este ensayo a compresión de las probetas cilíndricas 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. Como se muestra en la figura 17.

Los cilindros fueron ensayados a los 3, 7 y 28 días luego del vaciado, fueron tomadas 6 probetas por cada diseño de mezcla y los resultados obtenidos en cada uno de las mezclas fueron calculados mediante la fórmula planteada Ec. 54.

La Expresión de los resultados de este cálculo se presentaron en una tabla por cada mezcla diseñada de igual manera se hizo un cálculo por cada fórmula presentada con la finalidad de dejar claro cada resultado expresado en las tablas dicho cálculo se realizó con los datos del cilindro nº 1 de la MP.



Figura 17. Ensayo de compresión
Fuente: autores (2018)

➤ **Carga en kg**

La carga dada por la máquina del ensayo de compresión la da en Nw lo que para efectos de cálculo la utilizamos en Kg, por lo que se realizó la conversión Nw-Kg multiplicándolo por un factor de la siguiente manera:

$$\text{Carga en Kg} = \text{Carga de maquina Nw} * \text{Factor (101,971)}$$

$$\text{Carga en Kg} = 257,3 * 101,971 = 26237,14 \text{ Kg}$$

➤ **Resistencia kg/cm²**

Luego de realizar la conversión Nw-kg, la resistencia se calculó de acuerdo a la fórmula Ec. 54 de la siguiente manera:

$$R_c = \frac{26237,14}{176,7} = 148,48 \text{ kg/cm}^2$$

➤ **Valor en %**

En relación a los resultados obtenidos de acuerdo a la resistencia que ha alcanzado en cada edad del ensayo se calculó un % de acuerdo a la resistencia máxima que en este caso es 210 lo que representa el 100% y se estimó que se alcanzara a los 28 días, el cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\text{valor \%} = \frac{\text{Resistencia}}{250} * 100$$

$$\text{valor \%} = \frac{148,8}{250} * 100 = 59,52 \cong 60 \%$$

➤ **MP**

Tabla 49. Resultados de resistencia MP

Cilindro N°	Edad	Carga (Nw)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	valor %
01	3 días	257.3	26237.14	148.48	59
02	3 días	235.4	24003.97	135.85	54
03	7 días	354.7	36169.11	204.69	82
04	7 días	318.9	32518.55	184.03	74
05	28 días	480.4	48986.87	277.23	111
06	28 días	504.4	51434.17	291.08	116

Fuente: autores (2018)

➤ **MCP-1**

Tabla 50. Resultados de resistencia MCP-1

Cilindro N°	Edad	Carga (Nw)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	valor %
07	3 días	209.3	21342.53	120.78	48
08	3 días	232.6	23718.45	134.23	54
09	7 días	273.3	27868.67	157.72	63
10	7 días	281.9	28745.62	162.68	65
11	28 días	390.5	39819.68	225.35	90
12	28 días	410.9	41899.88	237.12	95

Fuente: autores (2018)

➤ **MCP-2**

Tabla 51. Resultados de resistencia MCP-2

Cilindro N°	Edad	Carga (Nw)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	valor %
13	3 días	214.3	21852.39	123.67	49
14	3 días	197.2	20108.68	113.80	46
15	7 días	317.8	32406.38	183.40	73
16	7 días	246.6	25146.05	142.31	57
17	28 días	421.9	43021.56	243.47	97
18	28 días	350.2	35710.24	202.10	81

Fuente: autores (2018)

➤ **Resistencia promedio de las 3 mezclas involucradas**

De acuerdo a los resultados presentados en las tablas anteriores se procedió a realizar el promedio de los 2 cilindros preparados de acuerdo a

cada mezcla diseñada y a la edad correspondiente de ensayo, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 52. Resistencia Promedio

Mezcla	Edad	Carga (Nw)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Valor (%)
MP	3 días	246.35	25120.56	142.17	57
	7 días	336.8	34343.83	194.36	78
	28 días	492.4	50210.52	284.16	114
MCP-1	3 días	220.95	22530.49	127.51	51
	7 días	277.6	28307.15	160.20	64
	28 días	400.7	40859.78	231.24	92
MCP-2	3 días	205.75	20980.53	118.74	47
	7 días	282.2	28776.22	162.85	65
	28 días	386.05	39365.90	222.78	89

Fuente: autores (2018)

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla anterior se procedió a realizar gráficos con la finalidad de hacer una comparación de la resistencia promedio de los dos cilindros preparados para las diferentes mezclas en sus 3 edades.

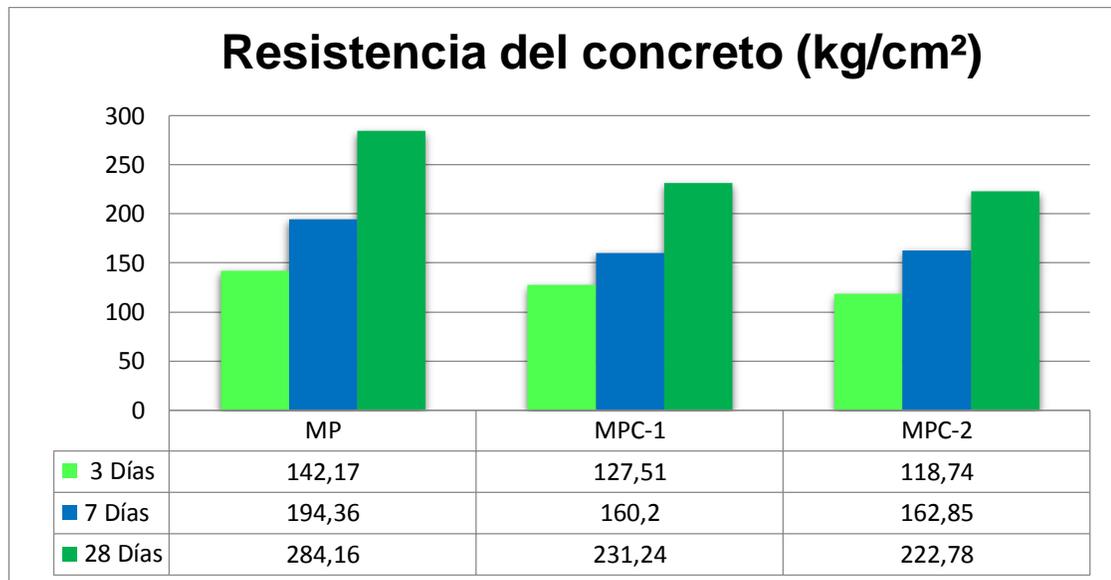


Gráfico 8. Comparación de resistencias
Fuente: autores (2018)

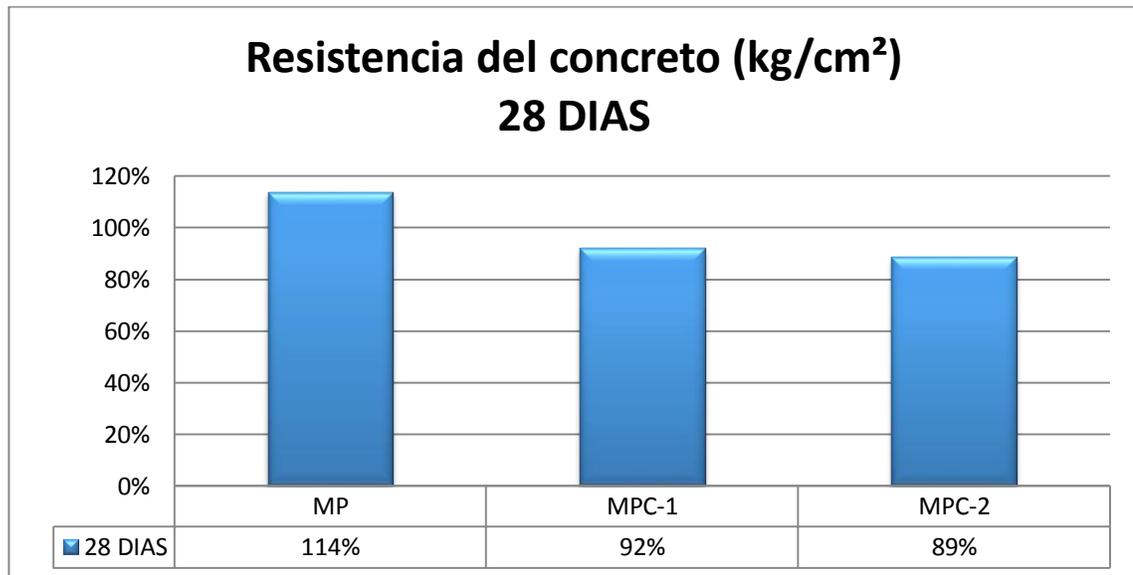


Gráfico 9. Resistencia a los 28 días
Fuente: autores (2018)

De acuerdo al gráfico 08, se observa claramente la proyección que tuvieron los cilindros en cuanto a la resistencia alcanzada, en las 3 edades correspondientes de ensayo de las 3 mezclas realizadas.

En cuanto a la comparación de una mezcla a otra, la mezcla patrón fue la de mayor resistencia alcanzada a los 28 días tal cual se describe en el gráfico 09, ahora las mezclas con coque petrolero la que mejor resistencia a los 28 días obtuvo fue la MCP-1 que es la que mayor contenido de coque petrolero tiene.

De acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 1753-2006 Proyecto Y Construcción De Obras En Concreto Estructural a cada una de las mezclas realizadas se hizo la comprobación de los criterios de aceptación:

Dicho criterio reza lo siguiente:

Ningún ensayo individual, promedio de al menos dos cilindros estará por debajo de $f'c$ en más de: 35 kgf/cm^2 cuando $f'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$, o de $0,1 f'c$ cuando $f'c > 350 \text{ kgf/cm}^2$,

De acuerdo a este criterio la comprobación realizada es la siguiente:

Para $f'c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$

$F'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$ se establece que ningún valor puede estar por debajo de: $f'c - 35 \text{ kgf/cm}^2$. Es decir que todos y cada uno de los resultados de ensayos individuales debe ser igual o mayor que la resistencia especificada de cálculo disminuida en 35 kg/cm^2 :

Por lo tanto:

$$F'c = 250 - 35 \text{ kgf/cm}^2 = 215 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F'c_{\text{patrón}} = 284,16 \text{ kgf/cm}^2 > 215 \text{ kgf/cm}^2 \therefore \text{cumple.}$$

$$F'c_{\text{MCP-1}} = 231,24 \text{ kgf/cm}^2 > 215 \text{ kgf/cm}^2 \therefore \text{cumple.}$$

$$F'c_{\text{MCP-2}} = 222,78 \text{ kgf/cm}^2 > 215 \text{ kgf/cm}^2 \therefore \text{cumple.}$$

Con estos resultados presentados se deja clara evidencia que las 3 mezclas cumple con los criterios de aceptación en cuanto a la resistencia de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 1753-2006. Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural.

4.12 Ensayo a la abrasión y Absorción

En el transcurrir de la investigación surgió el estudio de estas dos propiedades a las mezclas diseñadas en este trabajo de grado.

Los equipos requeridos para realizar estos tipos de ensayo no se contaban con ellos al momento, por lo que aplicando los conocimientos de ingeniería se realizaron estos ensayos con procedimientos no normativos basados en el procedimiento estándar de acuerdo a las normas establecidas para cada tipo de ensayo.

Lo primero fue diseñar bloques con las siguientes medidas:

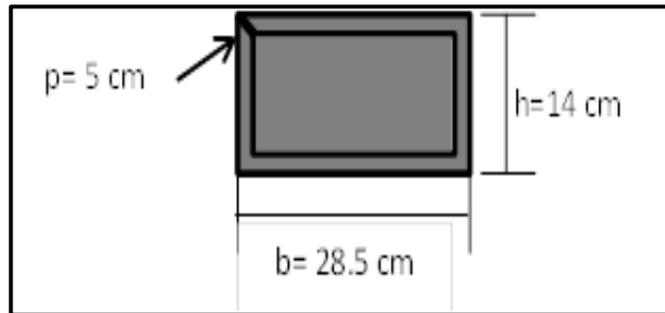


Figura 18. Dimensiones del bloque
Fuente: Autores (2018)

Dónde:

p= profundidad

h= altura

b= base

Establecidas estas medidas se procedió a calcular el volumen de la siguiente manera:

$$V = b * h * p$$

$$V = 28,5 * 14 * 5 = 1.995 \text{ cm}^3$$

Por efectos de cálculo se hizo la conversión del volumen de cm^3 a m^3 , para poder realizar la dosificación de materiales con la relación del diseño de mezcla de $0,040 \text{ m}^3$ presentado en la sección 4,5 tabla 43, dicha conversión se realizó de la siguiente manera:

$$1.995 * \frac{1\text{m}^3}{1.000.000} = 0,001995 \text{ m}^3 \cong 0,002 \text{ m}^3$$

Se hizo la aproximación del volumen considerando el desperdicio que pueda darse en el vaciado.

Para la realización de estos ensayos fue necesario hacer 4 bloques por cada tipo de mezcla diseñada, que hacen un total de 12 bloques, debido a que son 3 mezclas; de los cuales 6 fueron utilizados para el ensayo de absorción y 6 para el ensayo de abrasión, por lo que se hizo el cálculo del volumen para 12 bloques de la siguiente manera:

$$12 * 0,002 \text{ m}^3 = 0,024 \text{ m}^3$$

$$0,024 \text{ m}^3 \rightarrow 24 \text{ litros}$$

Tabla 53. Dosificación de los materiales

Dosificación para 24 litros (0,024 m ³)			
Componente	MP	MCP-1	MCP-2
Cemento (kg)	8,28	8,28	8,28
Agua (lts)	5,17	5,21	5,20
Piedra (kg)	23,06	23,06	23,06
Arena (kg)	20,03	10,01	14,02
Coque Petrolero (kg)	-	4,66	2,80
Aire (lts)	0,00036	0,00036	0,00036

Fuente: Autores

4.12.1 Ensayo de absorción

Con este ensayo se comprobó que cantidad de agua fue absorbida e infiltrada en el bloque siguiendo un procedimiento completamente empírico de la siguiente manera:

Se procedió a colocar el bloque sobre una bandeja que cubría totalmente el área del bloque esta bandeja retenía el agua que pasaba a través del bloque es decir el agua infiltrada, a su vez estaba una segunda bandeja debajo de la primera bandeja estaba captaba el agua que corría a través de la superficie del bloque. El agua empleada en este ensayo era suministrada por un recipiente a una altura considerable con una capacidad de 6 litros el tiempo empleado para que los 6 litros de agua salieran en su totalidad del recipiente fue de 2 minutos. El procedimiento descrito se muestra en la figura 19.



Figura 19. Mecanismo empleado para ensayo de absorción
Fuente: Autores (2018)

En las siguientes tablas se muestran las características y datos necesarios para el cálculo del ensayo absorción.

Volumen inicial de agua= 06 litros

Duración de ensayo= 2min

Tabla 54. Ensayo de absorción MP

Características	Bloque 1	Bloque 2
Peso seco del bloque (kg)	4, 630	4,590
Peso húmedo del bloque (kg)	4,640	4,620
Agua infiltrada (l)	0	0
Agua derramada (l)	5,400	5,360
Absorción (l) (volumen inicial – agua derramada)	0,60	0,64
Promedio	$\frac{0,60 + 0,64}{2} = 0,62 \text{ l}$	

Fuente: Autores (2018)

Tabla 55. Ensayo de absorción Mezcla MCP-1

Características	Bloque 1	Bloque 2
Peso seco del bloque (kg)	4,330	4,200
Peso húmedo del bloque (kg)	4,400	4,230
Agua infiltrada (l)	0	0
Agua derramada (l)	4,860	4,890
Absorción (l) (volumen inicial – agua derramada)	1,14	1,11
Promedio	$\frac{1,14 + 1,11}{2} = 1,13$	

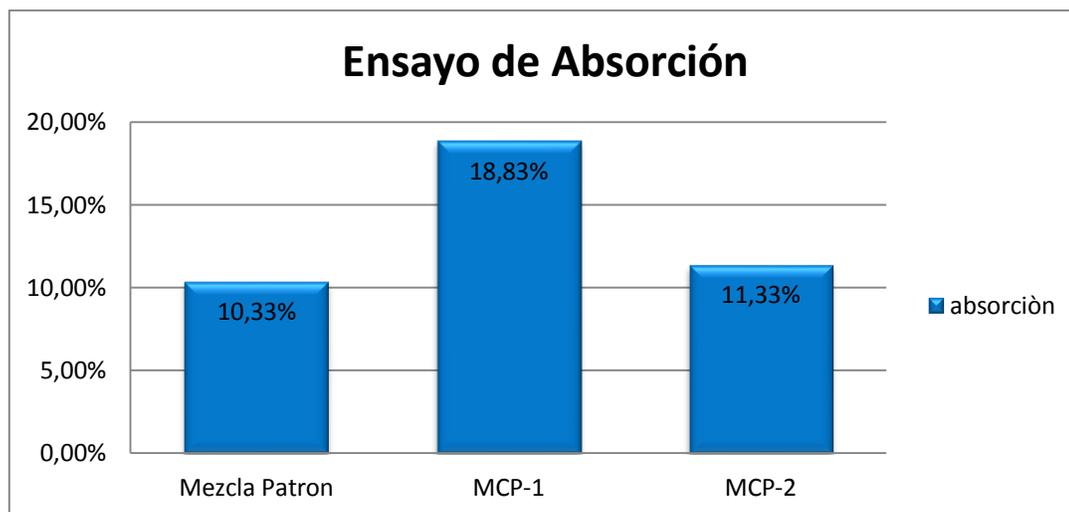
Fuente: Autores (2018)

Tabla 56. Ensayo de absorción Mezcla MCP-2

Características	Bloque 1	Bloque 2
Peso seco del bloque (kg)	4,600	4,500
Peso húmedo del bloque (kg)	4,680	4,530
Agua infiltrada (l)	0	0
Agua derramada (l)	5,280	5,360
Absorción (l) (volumen inicial – agua derramada)	0,72	0,64
Promedio	$\frac{0,72 + 0,64}{2} = 0,68 \text{ l}$	

Fuente: Autores (2018)

Los datos expresados en las tablas anteriores fueron agrupados en el siguiente gráfico con la finalidad de analizar que mezcla tiene mayor porcentaje de absorción.

**Gráfico 10. Ensayo de Absorción**

Fuente: autores (2018)

De acuerdo al gráfico anterior se puede demostrar que la mezcla con mayor porcentaje de absorción de agua es la mezcla MCP-1, la cual es la que mayor contenido de coque tiene con un 50% de este material, con respecto a la mezcla MCP-2 que dentro de sus componentes tiene el 30% de

este material, lo que se le puede atribuir a las características de porosidad que presenta el coque petrolero.

4.12.2 Ensayo de abrasión

El ensayo de resistencia a la abrasión determina el desgaste que puede tener una superficie de concreto, la cual esta propiedad está fuertemente ligada a la resistencia a la compresión del concreto, es decir, un concreto con alta resistencia a la compresión tiene más resistencia a la abrasión que el concreto con menor resistencia a la compresión,

Para efectos de este trabajo de grado, con este ensayo realizado se buscó evaluar el comportamiento en cuanto a la abrasión en cada mezcla en estudio, el cual se hizo mediante un procedimiento empírico aplicando conocimientos técnicos y básicos de la carrera el cual se describe de la siguiente manera:

Utilizando una tronzadora Dewalt 2200 Watts De Potencia, modelo D28710 y una mandarina de 30 kg encima del equipo, específicamente entre la empuñadura y el interruptor de arranque, de tal manera que su trabajo fuera totalmente mecánico sin ningún esfuerzo humano, tal cual muestra la figura 20.



Figura 20. Equipo utilizado para ensayo de abrasión
Fuente: Autores (2018)

El disco de corte penetraba en cada bloque diseñado en un área determinada por una duración de 2 min, generando en él una marca que fue medida, tanto su largo como su ancho, haciendo uso de una regla medidora de grietas como se muestra en la fig. 21.



Figura 21. Medición del largo y el de la marca originada por el disco de corte
Fuente: Autores (2018)

Por medio de estas medidas se pudo conocer los datos necesarios para calcular el desgaste mínimo que el disco de corte le hacía al bloque, es decir, la profundidad que este generaba en las muestras ensayadas. Empleando conocimientos matemáticos aplicando fórmulas de un segmento circular que es la forma intrínseca del disco de corte se pudo conocer la profundidad originada en cada bloque.

4.12.2.1 Expresión de los resultados

En la siguiente tabla se muestra el ancho y el largo de la marca originada por el disco de la tronzadora en el bloque.

Tabla 57. Expresión de Datos			
Mezcla	Bloque	Ancho (mm)	Largo (mm)
Mezcla Patrón	01	3	41
	02	3	44
MCP-1	01	3	36
	02	3	34
MCP-2	01	3	39
	02	3	38

Fuente: Autores (2018)

Como el disco de la tronzadora es un segmento circular con un radio de 145 mm, se emplearon conocimientos matemáticos aplicando fórmulas para determinar la profundidad del desgaste generado en el bloque, la cual se describe a continuación:

➤ **Calculo de ángulo**

En esta sección se calcula el ángulo de cada bloque en estudio, ya que cada bloque presenta una longitud de cuerda diferente (largo), para llevar a cabo este cálculo se hizo de la siguiente manera:

$$c = 2 R \sin \frac{\emptyset}{2}$$

Dónde:

c= longitud de cuerda

R= radio del segmento circular (disco de corte)

\emptyset = ángulo central

Como la longitud de cuerda ya es conocida, la cual es el largo de la marca ocasionada por el disco de la tronzadora en el bloque, en este caso se necesitaba conocer el ángulo central de la figura y por lo tanto se procedió a despejarlo de la ecuación anterior quedando de la siguiente manera:

$$\emptyset = 2 \sin^{-1} \frac{c}{2R}$$

➤ **Calculo de profundidad**

Conocido el ángulo, se procede a determinar la profundidad de la marca originada por el disco de la tronzadora, el cual refleja el desgaste originado por el equipo en el espécimen.

Este cálculo se hizo mediante la siguiente ecuación:

$$h = R \left(1 - \cos \frac{\emptyset}{2} \right)$$

➤ **Ejemplo de cálculo del segmento circular**

- ✓ Angulo central

$$\phi = 2 \sin^{-1} \frac{41}{2(145)} = 0,28$$

✓ Profundidad (desgaste)

$$h = 145 \left(1 - \cos \frac{0,28}{2} \right) = 1,42 \text{ mm}$$

Tabla 58. Resultados del ensayo de abrasión

Mezcla	Bloque	Angulo	Profundidad (mm)	Promedio (mm)
MP	01	0,28	1,42	1,53
	02	0,30	1,63	
MCP-1	03	0,25	1,13	1,09
	04	0,24	1,63	
MCP-2	05	0,27	1,32	1,27
	06	0,26	1,22	

Fuente: autores (2018)

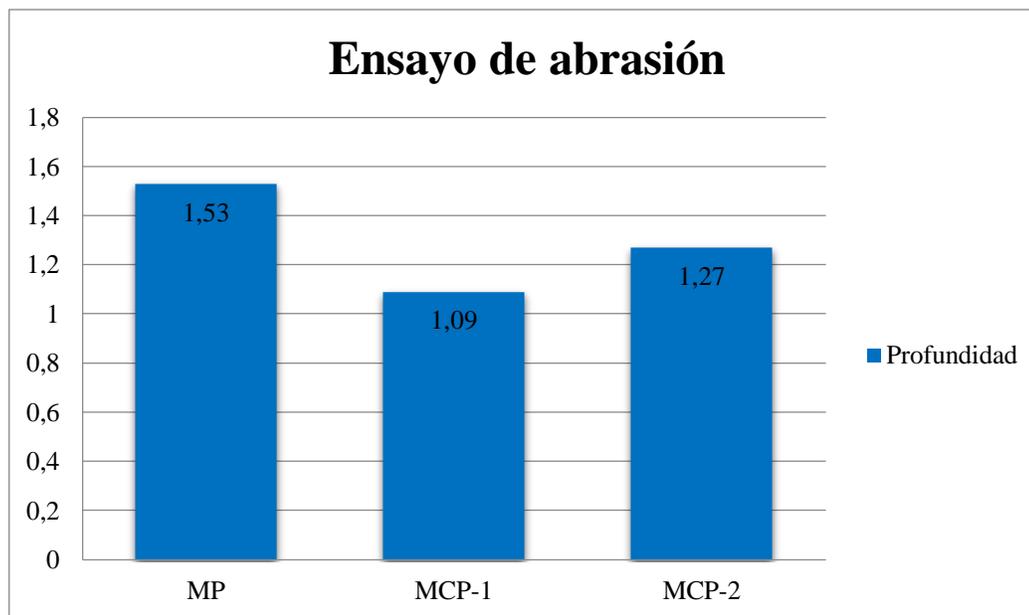


Grafico 11. Ensayo de Abrasión

Fuente: autores (2018)

De acuerdo al grafico anterior la mezcla patrón refleja una mayor profundidad con respecto a la otras dos mezclas implicadas en el ensayo, lo que conlleva a deducir que en este caso a pesar que la MP representa la mayor resistencia a la compresión es la que se esperaba que tuviera más

resistencia a la abrasión, pero de acuerdo al ensayo realizado el resultado obtenido fue al contrario la mezcla con el 92% resistencia a la compresión fue la que mejor resistencia a la abrasión obtuvo, de acuerdo a este resultado se infiere que el coque le atribuye al concreto características que mejoran las condiciones de resistencia a la abrasión.

4.13 Posibles aplicaciones en el campo de la construcción civil

Luego de realizar una serie de pruebas a las diferentes mezclas de concreto para determinar si es factible considerar el hecho de usar como agregado sustentable este desperdicio industrial, el cual es el coque petrolero, se estableció las posibles aplicaciones que se le pueden dar a estas mezclas en el campo de la construcción.

De acuerdo a las características obtenidas en los ensayos realizados las mezclas con coque petrolero como agregado sustentable pueden tener las siguientes aplicaciones:

En estructuras livianas ya que existe una reducción en cuanto al peso específico de un 7 % con respecto a la mezcla patrón. Así como también pueden ser usadas en la fabricación de bloques livianos, rellenos y recubrimientos, elementos prefabricados.

Donde se requiera estructuras que sean permeables ya que las mezclas con coque petrolero mejoran las condiciones de permeabilidad, a lo que se le puede atribuir el uso en caminos residenciales, estacionamientos, sub-base para pavimentos de concreto convencional, estabilización de taludes, revestimiento, drenajes en bordes del pavimento entre otros.

Utilizar este tipo de concreto con coque petrolero en carpeta de rodamiento en vías, puede ser usado como concreto para vialidad ya que está presentando mejor capacidad al desgaste que un concreto normal.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El coque petrolero aunque difiere de una o más características de los agregados convencionales, aun así presenta buenas características físicas y mecánicas para ser usado como un agregado sustentable, tal es el caso de su porosidad, el coque petrolero es un material poroso, y de bajo peso específico, peso unitario tanto suelto como compactado lo que lo convierte en un agregado sustentable liviano, aunado a esto posee un alto contenido de humedad y en cuanto a su granulometría, este residuo industrial posee una granulometría variada, entre granos gruesos, medios y finos.

En base al diseño de mezcla según los parámetros establecidos en el método ACI 211,1-81 y el Manual del Concreto Estructural de Porrero, los resultados obtenidos en las mezclas diseñadas con coque petrolero cumplen con los criterios y lineamientos establecidos, sin embargo estas mezclas alcanzaron una resistencia disminuida de 19% y 22% en relación a la MP, a pesar de este factor dichas mezclas cumple con los criterios de aceptación en cuanto a la resistencia de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 1753-2006 Proyecto Y Construcción De Obras En Concreto Estructural.

La densidad del concreto normalmente se encuentra entre 2,200 a 2,400 kg/m³, en este proyecto de investigación el concreto con coque petrolero tiene menor densidad que el concreto convencional, MCP-1 y MCP-2 representan una disminución del 10% y 8% respectivamente, es decir, las mezclas con coque petrolero tienen menor densidad que la MP, dicha densidad disminuye al aumentar la cantidad de coque añadida debido al que este residuo industrial es liviano, con estos resultados se demuestra que las mezclas propuestas poseen menor densidad cuya ventaja puede ser

usado en obras donde los requerimientos de diseño sean de concretos livianos.

Por otro lado, se tiene la trabajabilidad del diseño de mezcla, en las mezclas con coque petrolero se observaron un buen asentamiento y trabajabilidad además de un tiempo de fraguado de menor tiempo en comparación de la mezcla convencional.

En cuanto a los ensayos no normativos en este trabajo de grado se observa claramente que de acuerdo a los resultados las MCP-1 y MCP-2 presentan mejores propiedades que la MP en cuanto a la resistencia a la abrasión y de absorción, donde dichas mezclas puede ser propuestas para ser usadas en vialidades, aceras, cunetas, estacionamientos y aquellas obras donde se requieran concretos permeables y resistentes a la abrasión.

5.2 Recomendaciones

Realizar más ensayos de resistencia para la verificación de la desviación estándar.

Llevar a la práctica más ensayos con mayores porcentajes de sustitución de coque petrolero, 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.

Hacer estudios de la interacción del concreto-coque y acero de refuerzo para posibles aplicaciones como concreto estructural, ya que existe una disminución en el peso de la estructura.

Hacer ensayos normativos para la resistencia a la abrasión ya que los valores obtenidos en esta investigación fueron para obtener un valor ponderado.

Se recomienda que se hagan estudios de mezclas para concreto permeable las cuales difieren de las características de la presente investigación ya que se determinó mediante ensayos de permeabilidad de que las mezclas de coque aumentan la capacidad de permeabilidad en un 10 %.

Estudiar posibles implicaciones que pueden tener este tipo de mezclas en la salud.

Se aconseja tomar las medidas de higiene y seguridad a la hora de hacer cualquier uso de este material.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.1. 1991. **Práctica Recomendada para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto Normal, Pesado y Masivo, ACI. 211.1-81**, revisada en 1991, Reporte del Comité ACI 211 del Instituto Americano del Concreto.
- Agreda L. y Magín K. (2012). **Análisis de las propiedades mecánicas del mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usado en elementos estructurales y no estructurales**, Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero civil, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar, Venezuela.
- Arias F. G. (2012). **El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica** (6a ed.). Caracas: Episteme.
- ASTM C779 (2012). **Método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de superficie de concreto horizontal**. ASTM International. West Conshohocken, 6pp.
- ASTM C944 / C944M-12. (2012). **Método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de superficies de concreto o mortero mediante el método de corte giratorio**, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM  C1064 (2012). **Método de Ensayo Estándar para Temperatura del Concreto de Cemento Portland Recién Mezclado**. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Astorga A. y Rivero P. (2009). **Definición de términos básicos**, El Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos (CIGIR), Primera Edición, Mérida, Venezuela.

Barrera Y. y Díaz L. (2011). **Reciclaje del caucho como una propuesta ecoamigable en el municipio San Rafael de Carvajal**. Trabajo de Investigación, Trujillo, Venezuela, Disponible en: <http://publicaciones.urbe.edu/index.php/revecitec/article/viewArticle/961/3144>

Brundtland G. (1986). **Desarrollo sostenible**. Informe Brundtland Nuestro Futuro Común. Disponible en: <https://undocs.org/es/A/42/427>

Castaño y E. Vidaud. (2013). **Mezcla sustentable**, Revista Construcción y Tecnología en concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

COVENIN 339- 1994. **“Concreto, Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”**. Norma Venezolana.

COVENIN 338- 2002. **“Concreto, Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concreto”**. Norma Venezolana.

COVENIN 255- 77. **“Método de Ensayo para Determinar la Composición Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos”**. Norma Venezolana.

COVENIN 268:1998. **“Determinación De La Densidad y Absorción”**, Norma Venezolana.

COVENIN 1375-79. **“Método De Ensayo para Determinar Por Secado, el Contenido de Humedad Total y Superficial en el Agregado”**. Norma Venezolana.

COVENIN 2508-88. **“Determinación del contenido de humedad del coque”**, Norma Venezolana.

COVENIN 2732-90. **“Determinación de peso específico relativo, verdadero y aparente y la porosidad del coque”**. Norma Venezolana.

COVENIN 1753-2006. **“Proyecto Y Construcción De Obras En Concreto Estructural,”** Norma Venezolana.

Delgado A. (2006). **Elaboración de bloque de concreto vibrado utilizando coque y cemento como materia prima**, Trabajo Especial de Grado para optar por el título de Ingeniero civil, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo.

Freites M. (2012). **Propuesta de análisis morfológico y estructural para la elaboración de pastas de cemento mezcladas con coque**. [Documento en línea] Propuesta de Investigación, Instituto de Estudios Avanzados, Caracas, Disponible en: <http://www.venezuelagas.net/documents/2012-ST-14.pdf>

Ghafoori N. y Col. F. 1999. **Resistencia a la abrasión del concreto de humo de sílice reemplazado con agregado fino**, ACI Material Journal. Pp. 559-567.

Ghafoori N. y Dutta S. (1995), **Desarrollo de aplicaciones de pavimentos de concreto**, Sociedad Americana de Ingenieros Civiles

- López L. (2003). **El concreto y otros materiales para la construcción**, 2da Edición, Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales
- Martins F. (2010). **Metodología de la investigación**, 3ra Edición. Caracas: Episteme.
- Porrero J. Ramos C. Grases J. y Velazco G (2009). **Manual del concreto estructural** (3ª ed.), Caracas, Venezuela.
- Sabador E. (2009). **Morteros especiales elaborados con coque de petróleo**. Trabajo de investigación. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid, España.
- Sánchez D. (2008). **Tecnología del concreto y del mortero** (1ª ed.), Bogotá, Colombia.
- Torres A. (2004). **Curso Básico de Tecnología de Concreto**. Primera Edición. Bogotá Colombia.

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“Establecer posibles aplicaciones del coque petrolero como agregado sustentable en mezclas de concreto”
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Pino Pérez, Laurrys Jackeline	CVLAC	21.328.324
	e-mail	laurrysj@gmail.com
	e-mail	
Rodriguez Natera, Johnmaris Josefina	CVLAC	19.983.334
	e-mail	johnmarisr@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

coque petrolero
aplicaciones
mezcla sustentable

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería civil

Resumen (abstract):

Resumen

En la investigación se planteó como objetivo general: Establecer posibles aplicaciones del coque petrolero como agregado sustentable en mezcla de concreto. Se llevó a cabo de acuerdo a una metodología de trabajo de tipo experimental, con un nivel de investigación explicativa y un diseño que aplica estrategias documentales. El coque petrolero, es un subproducto industrial, procedente del proceso del refinado del petróleo, este material se ha ido acumulando en grandes cantidades sin tener un posterior uso, en los patios de Complejo Industrial de Jose (Anzoátegui), y en distintos espacios del mismo existen toneladas de coque conformando unos cerros con dicho material residual, lo cual lo convierte en una problemática de orden ambiental, social, laboral y económica. La mezcla de concreto incorporando este subproducto como agregado sustentable está aportando ideas para disminuir los imponentes vertederos que existen de este material actualmente, el cual está ocasionando daños ambientales. Se realizó estudios preliminares guiados por el Método ACI 211.1-81 y el método de Porrero y Grases, bajo la concepción de los requerimientos mínimos señalados en la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN); con la finalidad de estudiar el comportamiento que tiene este material como agregado sustentable en mezclas de concreto, para obtener resultados que a partir de ellos se logre establecer los posibles usos que se le puede dar en la industria de la construcción.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Martínez, Jonathan	ROL	CA		AS	X	TU		JU			
	CVLAC	15.376.400									
	e-mail	ingmartinezgj@gmail.com									
	e-mail										
Rondón, Elys	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	8.440.241									
	e-mail	elysrondon@gmail.com									
	e-mail										
Cabrera, Daniel	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	17.421.606									
	e-mail	danielcabrera@udo.edu.ve									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2019	04	25

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis_coque.petrolero.doc	Aplication/word

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:**Ingeniero Civil****Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado****Área de Estudio:****Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas****Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:****Universidad de Oriente - Núcleo de Anzoátegui / Extensión Centro-Sur Cantaura**

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

**Pino Pérez, Laurrys Jackeline
Josefina**

AUTOR

Rodríguez Natera, Johnmaris

AUTOR

Prof. Martínez, Jonathan

TUTOR