

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y EVALUACION DE MEZCLAS DE CONCRETO
AUTOCOMPACTANTES CON AGREGADOS DE LA ZONA CAPITAL
Y ADITIVOS FISICO-QUIMICOS

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LOS BACHILLERES
CARLOS EDUARDO SANABRIA ESTÉ
JOHN ALBERTO WRIGHT OVALLES
PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO CIVIL

CARACAS, mayo 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y EVALUACION DE MEZCLAS DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTES CON AGREGADOS DE LA ZONA CAPITAL Y ADITIVOS FISICO-QUIMICOS

Tutor Académico: Prof. María Eugenia Korody

Tutor Industrial: Ing. José Enrique Salazar

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LOS BACHILLERES
CARLOS EDUARDO SANABRIA ESTÉ
JOHN ALBERTO WRIGHT OVALLES
PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO CIVIL

CARACAS, mayo 2006

ACTA

El día _____ se reunió el
Jurado

Formado por los profesores:

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: DISEÑO Y
EVALUACION DE MEZCLAS DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTES CON
AGREGADOS DE LA ZONA CAPITAL Y ADITIVOS FISICO-QUIMICOS.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar el Título
De: INGENIERO CIVIL

Una vez oída la defensa que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial, este
Jurado decidió las siguientes clasificaciones:

NOMBRE	CALIFICACION	
	Número	Letras
Carlos Eduardo Sanabria Esté		
Jonh Alberto Wright Ovalles		

RECOMENDACIONES (Si las hubiera): _____

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, ____ de _____ de 20__

Sanabria E. Carlos E.

Wright O. John A.

**DISEÑO Y EVALUACION DE MEZCLAS DE CONCRETO
AUTOCOMPACTANTES CON AGREGADOS DE LA ZONA
CAPITAL Y ADITIVOS FISICO-QUIMICOS**

Tutor Académico: Prof. María Eugenia Korody.

Tutor Industrial: Ing. José Enrique Salazar.

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

Escuela de Ingeniería Civil. 2006, nº pág.: 321.

Palabras Clave: Concreto, Autocompactante, agregados, aditivo.

RESUMEN

En el siguiente Trabajo Especial de Grado se pretende resolver un problema existente en la industria venezolana de la construcción, este problema está circunscrito al ámbito de las prácticas constructivas, donde se manifiestan en ocasiones, deficiencias por la mano de obra poco calificada y la falta de inspección de una compactación adecuada, por otra parte la insuficiente trabajabilidad de las mezclas de concreto para acomodarse eficazmente en el molde. Como consecuencia se pone en evidencia un mal desempeño en la estructura de concreto armado, por ejemplo, espacios vacíos en el interior del elemento y segregación.

Como solución a este problema se diseñan y evalúan mezclas de concreto autocompactante, realizando ensayos de laboratorio donde se manipulan y controlan las variables de interés, observando los efectos sobre la condición a estudiar.

El Concreto Autocompactante es aquel que tiene la propiedad que permite manipularlo como si fuera un líquido, sin segregarse. Tiene la habilidad de fluir a través del acero por la fuerza de gravedad, manteniendo su homogeneidad. Diferentes métodos han sido desarrollados para medir y caracterizar las propiedades de fluidez que debe tener el concreto autocompactante. Este Trabajo

Especial de Grado describe algunos de los métodos existentes: el ensayo de extensibilidad, caja L y caja en V.

La mezcla de Concreto Autocompactante finalmente se diseñó mediante la búsqueda de sus características reológicas óptimas, la cual fueron estudiadas mediante los ensayos nombrados anteriormente y con la utilización de aditivos físico-químicos, los resultados obtenidos del diseño de mezcla del concreto autocompactante se encontraron dentro de los parámetros establecidos, la resistencia promedio obtenida en los ensayos de cilindros normalizados a compresión fue de 250,6 Kg/cm², que es mayor a la resistencia promedio requerida, la cual se ubicó en 244 kg/cm².

El análisis de costo realizado arrojó que en todos los casos estudiados los costos totales son mayores para el concreto autocompactante, en un rango de 11.000 a 28.000 Bs. Por metro cuadrado de construcción, esto representa entre un 7.4% a 17.3% más costoso.

DEDICATORIA
CARLOS SANABRIA

A mis padres, Luis Rafael y Andreina, por lo que han significado durante toda mi vida, gracias a su apoyo y educación a través de los años, debo agradecerles los esfuerzos que han realizado para ayudarme a llegar tan lejos.

A mis hermanos Luis Andrés y Andrés Eduardo, quienes han sido más que unos hermanos unos amigos que siempre estuvieron presentes en todos los momentos de mi vida y me apoyaron en todo momento en los que los necesité.

A mi compañero de tesis John Wright por darme la oportunidad de realizar este trabajo especial de grado.

A toda mi familia y amigos, que siempre estuvieron presentes, durante mi formación personal y profesional, apoyándome y aconsejándome en todo momento.

DEDICATORIA

JOHN WRIGHT

A Dios, por estar ahí siempre, darme salud y todo lo necesario para alcanzar esta meta. Sin ti no hubiera sido posible.

A mi madre, Martha Ovalles, eres un ejemplo de fortaleza, constancia y esfuerzo, gracias por tus enseñanzas a lo largo de mi vida. Vales oro, y para ti es este logro.

A mi compañero Carlos Sanabria, esto no hubiera sido posible sin ti, gran esfuerzo y dedicación demostraste en todo este tiempo, y además de un gran compañero, eres un gran amigo, cuenta conmigo siempre.

A mis abuelos, los quiero muchísimo, no hay palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí a lo largo de toda la vida.

A toda mi familia, cada uno de ustedes tiene un gran aporte en mi desarrollo personal y profesional, gracias por su apoyo en todo momento.

A Alejandro Diez, Edgar Pedagua, Ricardo Ortiz, Luis Moreno y Aurelio Alvarado, por su apoyo en todo momento, amigos como ustedes son difíciles de conseguir.

Rosalía Huizi y Renghild Luis, su apoyo en momentos difíciles fue de gran valor.

A la familia Sanabria Esté, por brindarnos en todo momento la ayuda el apoyo necesario en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A la Profesora María Eugenia Korody, por tu apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, por tus consejos y tu comprensión en todo momento.

Al Ingeniero José Enrique Salazar, por las oportunidades que nos has brindado durante todo este tiempo, por ser el guía de este proyecto. Gracias por el empeño y dedicación que nos permite alcanzar este objetivo tan importante el día de hoy. Gracias por ser más que un tutor, un amigo.

Al Ingeniero Rommel Herrera, por el apoyo técnico brindado en todo lo referente a los aditivos utilizados en el desarrollo de este estudio.

Al Ingeniero Wilmer Castellanos, por su colaboración en todo momento durante la realización de este proyecto.

A los Ingenieros Hermán Pérez y Manuel Díaz, por el apoyo técnico brindado en la ejecución de este proyecto.

Al Ingeniero Edgar Duarte, por su colaboración en la Cantera Araguaita, además, gracias por el caucho.

A Nicolás Ramos y Tony Camero, fueron una mano amiga en todo momento, y mostraron siempre un apoyo incondicional.

A los Profesores Gilberto Velazco, Nelson Camacho y Cesar Peñuela, por su ayuda y tiempo prestados en la orientación académica de la Tesis.

A la empresa CEMEX Venezuela, por la oportunidad y el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

A la Universidad Central de Venezuela, nuestra Alma Mater.

INDICE GENERAL

CAPITULO I: EL PROBLEMA

Introducción.....	26
Objetivos.	
Objetivos Generales.....	28
Objetivos Específicos.....	28
Aportes.	
Aportes para la ciencia, la ingeniería o la tecnología.....	29
Aportes para la sociedad.....	29
Aportes para los Tesistas.....	29
Aportes para la Institución.....	30

CAPITULO II: LA EMPRESA

2.1 Reseña Histórica de la Empresa.....	32
2.2 Desarrollo Cronológico de La C.A. Venezolana de Cementos.....	34

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades.....	37
3.2 Características del Concreto Fresco.....	37
3.3 Reología del Concreto.....	38
3.3.1 Fluidez.....	39
3.3.2 Compactación.....	39
Mecanismo de Densificación.....	43
Zona de Influencia.....	44
Tiempo de Vibrado.....	46
Frecuencia del Vibrador.....	47
Espesor de las Capas a Vibrar.....	47
3.3.3 Estabilidad a la segregación.....	47

3.4 Trabajabilidad.....	48
3.5 Retracción.....	48
3.6 COMPONENTES DEL CONCRETO.....	50
3.6.1 Agregados.....	50
Granulometría.....	52
Peso específico.....	54
Porosidad y absorción.....	55
Forma y Textura de los agregados.....	55
Tamaño máximo.....	57
Módulo de finura.....	57
Peso unitario suelto.....	58
Peso Unitario Compacto.....	58
Humedad.....	58
3.6.2 Cemento.....	59
Cemento Portland Gris tipo III.....	64
3.6.3 Agua.....	66
3.6.4 Aditivos.....	67
POLYHEED 728 N.....	69
WRDA – 79.....	73
GLENIUM 3000 NS.....	76
VISCOCRETE 6.....	78
3.7 PREPARACION Y MEZCLADO.....	82
3.7.1 Modos de preparación.....	82
3.7.2 Premezclado Comercial.....	82
3.7.3 Dosificación por peso.....	83
3.8 CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.....	85
3.8.1 Métodos de prueba.....	86
Ensayo de Extensibilidad o cono de revenimiento.....	86
Ensayo de la caja L.....	87
Resistencia a la segregación.....	89
Ensayo de la caja en V.....	89

CAPITULO IV: MÉTODO.

4.1 Tipo de Investigación.....	92
4.2 Diseño de la investigación.....	92
4.3 Instrumentos de recolección de información.....	93
4.3.1 Descripción de los Instrumentos.....	93
4.4 Análisis de Costos.....	95
4.5 Procedimiento para el desarrollo del diseño de mezcla.....	95
4.6 Procedimiento utilizado para la caracterización de los agregados.....	97
4.7 Procedimiento utilizado para la elaboración del concreto autocompactante.....	98
4.7.1 Tipos de mezcla.....	99
Mezclado tipo #1.....	99
Mezclado tipo #2.....	105
Mezclado tipo #3.....	105
4.7.2 Ensayos en estado fresco.....	106
Ensayo Extensibilidad o Ensayo de Asentamiento.....	106
Equipo Requerido.....	106
Método de Ensayo.....	108
Ensayo de la caja L.....	112
Equipo Requerido.....	113
Procedimiento de Ensayo.....	113
Ensayo de la caja en V.....	114
4.7.3 Evaluación en estado endurecido.....	115

CAPITULO V: RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 AGREGADOS.....	120
5.1.1 Agregado fino.....	120
Granulometría.....	120
Disgregabilidad a los sulfatos.....	121
5.1.2 Agregado grueso.....	122
Piedra ¾" caliza.....	122
Granulometría.....	122
Disgregabilidad a los sulfatos.....	123
Desgaste.....	123
Piedra ¾" silicia.....	123
Granulometría.....	123
Disgregabilidad a los sulfatos.....	124
Desgaste.....	124
Arrocillo 3/8" silicia.....	125
Granulometría.....	125
Disgregabilidad a los sulfatos.....	126
Desgaste.....	126
5.2 CONCRETO FRESCO.....	126
5.2.1 Grupo I.....	126
Subgrupo I.1.....	127
Subgrupo I.2.....	129
5.2.2 Grupo II.....	131
5.2.3 Comparaciones Grupo I y Grupo II.....	134
5.2.4 Grupo III.....	136
5.2.5 Grupo IV.....	138
5.2.6 Grupo V.....	141
5.2.7 Grupo VI.....	142
Subgrupo VI.1.....	143
Subgrupo VI.2.....	144
5.2.8 Grupo VII.....	144
5.2.9 Grupo VIII.....	145
5.2.10 Grupo IX.....	146

5.3 VALIDACION DE RESULTADOS.....	148
5.3.1 Evaluación de los ensayos en estado fresco.....	148
5.3.2 Resultados de Cilindros a compresión.....	152
5.4 ANALISIS DE COSTO.....	157
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	162
Recomendaciones.....	165
BIBLIOGRAFIA.....	166
ANEXOS.....	170

INDICE DE TABLAS

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO.

1. Características de Vibradores de Inmersión.....	45
2. Procedimientos Correcto e Incorrecto para la Compactación del Concreto.....	46
3. Especificaciones Granulométricas de la arena, según ASTM C33.....	53
4. Enumeración de los Cedazos para Calcular el Módulo de Finura.....	57
5. Componentes Mineralógicos del Cemento Portland.....	61
6. Propiedades de los componentes mineralógicos del concreto.....	62
7. Tipos de Cemento Portland.....	64

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS.

8. Comparación de los parámetros normativos y la arena utilizada de porcentaje pasante.....	120
9. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la piedra $\frac{3}{4}$ " caliza.....	122
10. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la piedra $\frac{3}{4}$ " silicia.....	124
11. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la arrocillo $\frac{3}{8}$ " silicia.....	125

I.1.A Características de mezclado del Subgrupo I.1.....	127
I.1.B Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo I.1.....	127
I.2.A Características de mezclado del Subgrupo I.2.....	129
I.2.B Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo I.2.....	130
II.A Características de mezclado del grupo II.....	131
II.B Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo II.....	131
II.C Valores de contenido de aire en el grupo II realizadas con el aditivo Glenium 020.....	134
III.A Características de mezclado del grupo III.....	136
III.B Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo III.....	137
IV.A Características de mezclado del grupo IV.....	138
IV.B Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo IV.....	139
V.1 Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo V.....	141
VI.1.A Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VI.1.....	143
VI.2.A Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VI.2.....	144
VII.1 Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo VII.....	145
VIII.1 Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo VIII.....	146
IX.1 Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo IX.....	147
12. Validación del ensayo del cono de extensibilidad.....	148
13. Validación del ensayo de la caja L.....	150

14. Validación de aire ocluido, tiempo de fraguado y embudo en V.....	151
15. Resistencia a 24 horas.....	153
16. Resistencia a 7 días.....	154
17. Resistencia a 28 días.....	155
18. Comparación de diseños de mezclas para el análisis económico.....	158
19. Costos de materia prima.....	158
20. Costos del Concreto Convencional.....	159
21. Costos del Concreto Autocompactante.....	159

ANEXOS

22. Tabla para conocer la humedad de un agregado fino por medio del ensayo del frasco de Chapman.....	208
---	-----

INDICE DE GRÁFICOS

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

1. Influencia de la Compactación en la Ley de Abrams.....	42
2. Curvas granulométricas de cementos portland tipos I y III.....	63

CAPITULO V: RESULTADOS Y ANALISIS

I.1.A Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del subgrupo I.1.....	128
I.1.B Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del subgrupo I.1.....	129
II.A Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del grupo II.....	132
II.B Representación gráfica del contenido de aire en función del Beta (β) del grupo II.....	132
II.C Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del grupo II.....	133
II.D Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del grupo I y grupo II.....	135
II.E Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del grupo II.....	136
3. Validación del ensayo del cono de extensibilidad.....	149
4. Validación del ensayo de la caja L.....	150
5. Media móvil a 28 días de los cilindros obtenidos para la validación de resultados.....	156

6. Curva de ganancia de resistencia de los cilindros obtenidos para la validación de resultados.....	156
--	-----

INDICE DE IMÁGENES

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

1. Fluidez de una mezcla de Concreto.....	39
2. Vibración Interna con Vibrador de Inmersión.....	43
3. Patio de Almacenamiento de agregado fino (Arena).....	50
4. Patio de Almacenamiento de agregado grueso (Piedra 3/4").....	51
5. Agua almacenada para mezclado del concreto.....	67
6. Muestra representativa para mezclas de prueba de POLYHEED 728 N.....	70
7. Almacenamiento del Aditivo POLYHEED 728 N.....	73
8. Almacenamiento del Aditivo WRDA – 79.....	74
9. Muestra representativa de aditivo WRDA – 79 para mezclas de prueba.....	75
10. Muestra representativa de aditivo GLENIUM 3000 NS para mezclas de prueba.....	76
11. Almacenamiento del Aditivo VISCOCRETE - 6.....	78
12. Muestra representativa de aditivo VISCOCRETE - 6 para mezclas de prueba.....	81
13. Premezclado Comercial, llenado de camión.....	82
14. Correa transportadora de los agregados del patio de almacenamiento a la dosificadora.....	83
15. Tolda de almacenamiento de cemento.....	84
16. Carga de camión de Concreto Premezclado.....	84

CAPITULO IV: MÉTODO

17. Realización del ensayo de humedad por el método del frasco de Chapman.....	99
18. Recolección y pesada de los agregados para la mezcla.....	100
19. Agregado grueso.....	101
20. Introducción del Cemento.....	102
21. Mezcla del aditivo con el agua.....	103
22. Mezclado del concreto.....	104
23. Proceso de extracción del concreto.....	104
24. Plancha de acero cuadrada y plana (tipo DIN) de 1m ²	107
25. Cono de Abrams.....	108
26. Colocación de la plancha en un sitio estable y horizontal.....	109
27. Llenado del cono de Abrams sobre la plancha.....	110
28. Limpieza de los excesos en cono y plancha.....	110
29. Levantamiento vertical del cono.....	111
30. Medición de los diámetros finales.....	112
31. Caja L.....	113
32. Ensayo de fraguado.....	115
33. Elaboración de Cilindros.....	116
34. Cilindro listo para su inmersión en la piscina de curado.....	117
35. Cilindro ensayado.....	118

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

V.1 Marca dejada por el cono de Abrams cuando fue retirado.....	142
--	-----

ANEXOS

36. Lectura alcanzada por el nivel de agua en el ensayo del frasco de Chapman.....	207
37. Prensa Hidráulica para ensayos a Compresión de cilindros.....	294
38. Olla y refrentador para Capping.....	294
39. Embudo en “V”.....	295
40. Tamizadora con abertura desde 1” hasta abertura #4.....	295
41. Cuarteadora.....	296
42. Moldes para Cilindros.....	296
43. Tamizadota con abertura desde ½” hasta #100.....	297
44. Tamices con abertura desde ½” hasta #100.....	297
45. Piscina para curado de cilindros.....	298
46. Mezcladora de tambor rotativo.....	298
47. Carretilla.....	299
48. Horno con muestras de agregado grueso y fino.....	300
49. Equipo de medición de aire ocluido.....	300
50. Balanza electrónica, carga máx. 20 kgf.....	300
51. Balanza electrónica, carga máx. 5 Kgf.....	301
52. Instrumentos para el cálculo de la humedad por medio del método del frasco de Chapman.....	301
53. Penetrómetro.....	302
54. Termohigrómetro.....	302
55. Cilindros graduados.....	303
56. Casco, mascarilla y guantes para protección.....	303

57. Pesado de una muestra de 500 gr. para realizar el ensayo de humedad.....	304
58. Acopio y recolección de agregado grueso.....	304

INDICE DE ANEXOS

1. Glosario.....	171
2. Granulometría de la arena utilizada.....	178
3. Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la arena utilizada.....	179
4. Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la arena utilizada.....	180
5. Peso específico y absorción de la arena utilizada.....	181
6. Peso unitario de la arena utilizada.....	182
7. Granulometría de la piedra 3/4 ^a de origen caliza utilizada.....	183
8. Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.....	183
9. Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.....	184
10. Ensayo de desgaste de los ángeles de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.....	185
11. Peso específico y absorción de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.....	186
12. Peso unitario de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.....	187
13. Granulometría de la piedra 3/4 ^a de origen silicia utilizada.....	188
14. Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la piedra 3/4" de origen silicia utilizada.....	189
15. Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la piedra 3/4" de origen silicia utilizada.....	190
16. Ensayo de desgaste de los ángeles de la piedra 3/4" de origen silicia utilizada.....	191

17. Peso específico y absorción de la piedra ¾” de origen silicia utilizada.....	192
18. Peso unitario de la piedra ¾” de origen silicia utilizada.....	193
19. Granulometría de la piedra 3/8 ^a de origen silicia utilizada.....	194
20. Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 del arrocillo 3/8” de origen silicia utilizado.....	195
21. Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos del arrocillo 3/8” de origen silicia utilizado.....	196
22. Ensayo de desgaste de los ángeles del arrocillo 3/8” de origen silicia utilizado.....	197
23. Peso específico y absorción de la piedra 3/8” de origen silicia utilizada.....	198
24. Peso unitario de la piedra 3/8” de origen silicia utilizada.....	199
25. Granulometría del polvillo electrofiltro utilizado.....	200
26. Granulometría del polvillo de piedra utilizado.....	201
27. Ensayos del Cemento Utilizado.....	202
28. Tiempo de fraguado validación #7.....	204
29. Tiempo de fraguado validación #8.....	205
30. Tiempo de fraguado validación #10.....	206
31. Método para determinar el contenido de humedad del agregado fino por el ensayo del frasco de Chapman.....	207
32. Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración, según norma COVENIN 352:1979.....	209

33. Método de ensayo para medir el contenido de aire por el método de presión, según norma Covenin 348:2004.....	211
34. Mezclas de prueba.....	212
35. Validaciones.....	277
36. Memoria fotográfica.....	293
37. Análisis de costos.....	305

CAPITULO I

EL PROBLEMA

INTRODUCCION

En la industria de la construcción, frecuentemente se hace evidente una significativa variación de la calidad entre las mezclas producidas y despachadas desde una planta de concreto premezclado y el material finalmente colocado en obra. Generalmente, esta diferencia se debe a deficiencias en las prácticas constructivas, manifestadas en ocasiones por la mano de obra poco calificada, junto a la falta de inspección de una compactación adecuada, entre otras; las cuales tienden a modificar negativamente el verdadero desempeño del concreto preparado para prestar su servicio y objetivo final: la estructura. Por otra parte, en muchas ocasiones se utilizan mezclas de concreto que no tienen la trabajabilidad suficiente para acomodarse eficazmente en el molde (Grases, 1964), promoviendo la segregación y favoreciendo la aparición de vacíos, especialmente en elementos estructurales intrincados y en zonas con alta densidad de acero de refuerzo, que paradójicamente son las de mayor concentración de tensión.

El diseño, mezcla y colocación del concreto en estructuras está cambiando y evolucionando paralelamente con los avances tecnológicos, aspirando en estos momentos, a incrementar al máximo la libertad en su diseño, para aumentar su productividad y su rentabilidad y como consecuencia, una mejora en el ambiente general de trabajo del personal de la construcción.

A través de los años, muchos desarrollos tecnológicos han proporcionado mayores avances en el diseño, mezcla y colocación de estructuras de concreto. *“El concreto es 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. El concreto ya mezclado, o concreto en estado fresco, es transportado a los moldes o encofrados previamente preparados y con el acero de refuerzo ya colocado en su interior en la posición en que debe quedar; se efectúa entonces la operación que conocemos como vaciado que consiste en verter la*

masa dentro de los moldes y proceder posteriormente a su compactación. Esa densificación se efectúa por medios manuales o mediante el vibrado de la masa de concreto. Como consecuencia de la vibración), la mezcla se fluidifica y se acomoda al encofrado, ocupando todos los espacios y rodeando completamente las armaduras metálicas” (Porrero, 2004).

El Concreto Autocompactante se define como un concreto que tiene una fluidez significativamente alta, con gran resistencia a la segregación durante su transporte y colocación, que puede ser vaciado dentro de encofrados estrechos y/o áreas densamente armadas sin aplicar vibración.

Este tipo de Concreto fue desarrollado a finales de los años ochenta, siendo usado en forma práctica en los diferentes tipos de estructuras, incluyendo obras de gran envergadura, aprovechando las ventajas que otorga esta tecnología que básicamente, evita la pesada y complicada faena de utilizar los vibradores en la construcción con empleo de concreto. A la fecha, se han realizado muchas investigaciones y aplicaciones prácticas buscando nuevos sistemas de construcción con este tipo de concreto.

Los principales criterios tomados en cuenta para el diseño de esta mezcla de concreto autocompactante son aquellos que facilitan la obtención de las principales características mencionadas anteriormente. En el estudio a realizar se tendrá como variables principales los elementos siguientes: primero, el uso de agregados gruesos de diversos tamaños y origen, segundo usaremos diferentes tipos de aditivos físico-químicos y por último la utilización de ultrafinos.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

1. Diseñar una mezcla de concreto autocompactante que será producida en una planta de premezclado utilizando aditivos físico-químicos, agregados disponibles en canteras de la zona capital y ultrafinos.
2. Evaluar diseños de mezcla de concreto autocompactante que será producida en una planta de premezclado utilizando aditivos físico-químicos, agregados disponibles en canteras de la zona capital y ultrafinos.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los agregados previamente seleccionados ubicados en canteras de la zona capital.
2. Proponer diferentes diseños de mezcla utilizando agregados previamente seleccionados, diversos tipos de aditivos físico-químicos y algunos tipos de ultrafinos.
3. Seleccionar los diseños de mezcla que cumplan con los criterios de aceptación para un concreto autocompactante en estado fresco.
4. Analizar mediante ensayos normalizados las características mecánicas del concreto autocompactante endurecido.
5. Evaluar la factibilidad económica del diseño de mezcla seleccionado.

APORTES

Respecto a la importancia, relevancia, utilidad y posibles aportes que se podrían derivar de este Trabajo Especial de Grado, una vez que se logren los objetivos planteados en la solución del problema, se tendrán algunas contribuciones, agrupadas de la siguiente forma:

Aportes para la ciencia, la ingeniería o la tecnología:

Por un lado, complementar los estudios en una línea de investigación, como lo es La Tecnología del Concreto, por otra parte, el aporte esperado de este Trabajo Especial de Grado que obtendría la industria Cementera Nacional y de premezclado.

Aportes para la sociedad:

Agilizar el proceso constructivo, en el sentido de mayor eficiencia y productividad en las obras por cometer.

Aportes para los Tesistas:

Conocer y relacionarse con profesionales de La Ingeniería Civil que trabajan en el campo de La Tecnología del Concreto y la producción de concreto Premezclado.

Adquirir experiencia en los Servicios Profesionales de una empresa reconocida mundialmente en el campo del Concreto Premezclado e Industria Cementera.

Aprendizaje en el área de La Investigación que favorecerá un mejor desempeño laboral en un futuro, pudiendo aplicar los conocimientos adquiridos en nuestra carrera universitaria.

Aportes para la Institución:

Inclusión de esta Investigación en el pensum de la materia “Tecnología del Concreto”, como contribución y aporte de los nuevos conocimientos obtenidos.

Apertura de una línea de investigación en el Departamento de Ingeniería Estructural con respecto al tema en estudio, proponiéndose nuevos métodos más adecuados, eficientes y productivos.

CAPITULO II

LA EMPRESA

2.1 Reseña Histórica de la Empresa

La fabricación de cemento en Venezuela tiene su origen al fundarse en 1907 La C.A. Fábrica Nacional de Cemento. Esta empresa fue promovida por el Dr. Alberto Smith y dos años más tarde, en 1909 se produce cemento por primera vez en el país al arrancar una planta dotada de un horno vertical de 20 Ton/día ubicada en la vega, por aquel tiempo, en las afueras de Caracas esta planta mantuvo un ritmo de crecimiento sostenido a través de sucesivas ampliaciones, gracias al empuje de Don Carlos Delfino y su familia, quienes toman el control de la empresa a los pocos años de haber sido fundada. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

Muchos años más tarde, a finales de la década de los 30 el Sr. Carlos Stellin promueve la formación de una empresa para explotar los yacimientos calcáreos cercanos a Valencia y, a la vez, consumir un excedente de producción de la planta local generadora de energía eléctrica que el también dirigía. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

La empresa se denominó C.A. Cementos Carabobo; iniciando sus operaciones productivas en 1940 con un horno rotatorio de 100 Ton/día. Esta empresa junto con la C.A. Cementos Coro, dio origen en 1964, a la empresa consolidada de Cementos C.A., actualmente Cementos Caribe. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

La capacidad total de producción de cemento en 1943 era de 120.000 Ton/año en las dos plantas mencionadas anteriormente. El consumo aparente, que en 1939 había llegado a 200.000 Ton/año, obligaba a complementar la producción nacional con cemento importado. Las restricciones del comercio internacional provocadas por la segunda guerra mundial determinaron una aguda escasez de cemento en el mercado global a tal punto que debió establecerse un sistema de cupos y el control de los precios. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

Un grupo de empresarios venezolanos encabezados por el Sr. Eugenio Mendoza promueve, por esta época, una empresa productora de cemento para satisfacer aquella parte de la demanda total del producto no elaborada del país. Para tal efecto, adquiere el pasivo y el activo de la “Compañía Venezolana Industrial de Oriente”, ya que esta poseía una opción de compra del fondo y las canteras Pertigalete. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

En septiembre de 1943 se organiza y registra la “C.A. Venezolana de Cementos” con un capital de Bs. 9.000.000 nombrándose presidente al Sr. Eugenio Mendoza, Vicepresidente al Dr. Gerardo Sansón y Gerente General al Dr. Enrique Thielen. En 1944 se negocia la compra de una planta de cemento destinada originalmente a un país asiático, la cual no pudo ser despachada debido al conflicto armado. La capacidad de esta planta era solo de 50 Ton/día, por tal motivo se decidió montar una planta en las afueras de Barquisimeto, a fin

de abastecer el mercado local con fletes bajos, de manera que permitan competir ventajosamente con el cemento importado. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

Entretanto, seguía trabajando en forma paralela en el desarrollo de las plantas de Maracaibo y Pertigalete. Debido al hecho de contar con abastecimiento local de energía eléctrica, la planta de Maracaibo comenzó a producir con un horno de 300 Ton/día en 1947, dos años antes que la planta de Pertigalete. Su primer Gerente el Dr. Enrique Stolk. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

El enorme esfuerzo que significó en montaje y puesta en marcha de tres plantas productoras de cemento en un lapso de cinco años dio a la empresa un marcado dinamismo que la llevó rápidamente a ocupar una posición predominante en la fabricación de materiales de construcción en Venezuela.

En el año 1994, la empresa Vencemos se convierte en filial de Cemex S.A., la cual es la empresa cementera más grande de América y la tercera en el mundo. En el año 2000 la Corporación Venezolana de Cementos S.A. cambia su denominación social a Cemex Venezuela C.A. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

2.2 Desarrollo Cronológico de La C.A. Venezolana de Cementos

1943 – Fundación de Venezolana de Cementos por un grupo de empresarios venezolanos liderizado por Eugenio Mendoza Goiticoa.

1945 – Planta Lara comienza operaciones en la ciudad de Barquisimeto, con una capacidad instalada de clinker de 15.000 toneladas métricas anuales.

1947 – Se inaugura Planta Mara, ubicada en Maracaibo, Estado Zulia, con una capacidad instalada de clinker de 100.000 toneladas métricas anuales.

1949 – Comienza operaciones Planta Pertigalete, con una capacidad instalada de clinker de 100.000 toneladas métricas anuales.

1954 – Primera exportación de cemento: 67.500 sacos desde Pertigalete hacia Araba.

- 1956 – Se inician operaciones en el Terminal marítimo de Catia La Mar.
- 1957 – Planta Lara comienza la producción de cemento blanco.
- 1973 – Se inaugura Planta Pertigalete II, con una producción instalada de 810.000 toneladas métricas de clinker.
- 1976 – Se funda la empresa Transportes Caura, para la distribución de cemento en Venezuela.
- 1977 – El ministerio de Fomento concede a VENCEMOS y a sus subsidiarias la autorización para el uso de la marca Norven.
- 1979 – Se funda la empresa VENMAR C.A., para el manejo de las operaciones de concreto premezclado.
- 1993 – Vencemos adquiere la totalidad de las acciones de Cementos Guayana.
- 1994 – Vencemos se convierte en filial de CEMEX, S.A. de C.V., la empresa cementera más grande de América y la tercera del mundo.
- 1998 – Se adquieren operaciones de cemento y concreto premezclado en República Dominicana.
- 2000 – Corporación Venezolana de Cementos S.A. cambia su denominación social a Cemex Venezuela C.A. *(Bobadilla, D.; Amón J., 2004)*

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES

Una vez planteado el problema de estudio y los objetivos a seguir, el siguiente paso consiste en sustentar teóricamente el estudio, etapa que algunos autores llaman elaborar el marco teórico. Ello implica analizar y exponer las teorías, los enfoques teóricos, las investigaciones y los antecedentes en general, que se consideren válidos para el correcto desarrollo del estudio. *(Rojas, 2001)*

El marco teórico está compuesto en una primera parte por definiciones básicas relacionadas con el concreto, sus componentes y algunas de las características que presenta este material en sus diferentes estados, esta primera parte provee de un marco de referencia para interpretar los resultados del estudio, ya que el concreto a diseñar posee características muy distintas al concreto mayormente utilizado.

La segunda parte del marco teórico presenta los diferentes procedimientos a seguir para el diseño de la mezcla *(ver anexo nº 1)*.

Por último, fundamentaremos los criterios que definirán que mezcla de concreto autocompactante será la seleccionada, siendo estos criterios la resistencia mecánica de los cilindros normalizados y su respectivo análisis económico.

3.2 Características del Concreto Fresco

Se denomina “concreto fresco” (*ver anexo nº 1*) al material mientras permanece en estado fluido, es decir, desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (período plástico). Durante ese lapso el concreto es transportado, luego vaciado en moldes y/o encofrados, y para finalmente compactarlo manualmente o por vibración.

Ese estado de plasticidad tiene una duración diferente entre uno y otros lugares, y entre una y otra época del año, ya que las condiciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y secos el estado fresco dura menos tiempo que en las localidades húmedas y frías, en las cuales tienen duración mayor.

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas. No sólo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino porque pueden servir como señal anticipada de las propiedades que podría tener el material al endurecerse posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico del concreto en este estado inicial avisa, en muchos casos, que en estado endurecido también puede ser impropia su calidad. En ese momento temprano, y antes de completarse los vaciados del material, es cuando se deben ejecutar las correcciones. El comportamiento del concreto fresco depende de varios factores o variables: dependiendo también como son sus componentes, también las características del mezclado o de su diseño, dependiendo también del medio ambiente circundante y/o de las condiciones de trabajo. (*Porrero, 2004*)

3.3 Reología del Concreto

Bajo el término “*reología del concreto*” se agrupa al conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo.

En la práctica se define la reología (*ver anexo nº 1*) del concreto en base a tres características: fluidez, compactabilidad y estabilidad a la segregación. (*Porrero, 2004*)

3.3.1 Fluidez

La fluidez describe la calidad del fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general, la palabra “*trabajabilidad*” también se emplea con el significado de fluidez. Lo contrario a fluidez es la consistencia (*ver anexo nº 1*) del concreto, la cual, se describe como la condición de “tieso”. (*Porrero, 2004*)

IMAGEN #1

Fluidez de una mezcla de Concreto



3.3.2 Compactación

Cuando la mezcla es vibrada se hace mas fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía: atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento, y es la característica que permite la compactibilidad (*ver anexo nº 1*) de la mezcla y su adaptación al molde.

Compactación o consolidación del concreto (*ver anexo nº 1*) es la operación por medio de la cual se densifica la masa, todavía blanda, reduciendo a un mínimo la cantidad de vacíos. Estos vacíos en el concreto fresco provienen de varias causas, entre las cuales las dos más importantes son: el llamado “aire atrapado” (*ver anexo nº 1*) y los vacíos producidos por la evaporación de parte del agua de amasado.

El aire atrapado es consecuencia inevitable del manejo de la propia masa blanda de concreto que, al ser mezclada, transportada y colocada, incorpora estos volúmenes de aire en su interior. La evaporación de parte de agua de amasado se genera porque no toda ella toma parte en la reacción con el cemento. En realidad, esta última sólo viene a ser un poco más de 25% en peso del cemento. El resto del agua no se combina químicamente, sino que cumple funciones de lubricación favoreciendo la trabajabilidad. Ese exceso de agua y el volumen de aire atrapado, es lo que se trata de eliminar cuando se compacta el concreto recién colocado. El agua no reactiva que pueda quedar en el interior de la masa no participa de la función resistente del concreto y, si se deseca, deja vacíos en forma de burbujas o de canales. Esos vacíos internos son, además de volúmenes sin resistencia (*ver anexo nº 1*) mecánica, puntos débiles desde el punto de vista de la durabilidad. (*Porrero, 2004*)

Existen numerosos procedimientos para disminuir ese conjunto de vacíos. La selección de cualquiera de ellos dependerá de las características del concreto y del tipo de estructura que se esté construyendo. En todos ellos el propósito es el mismo: llenar las formas geométricas de los encofrados con una masa densa, adherir esa misma masa a la superficie longitudinal de todas y cada una de las barras metálicas del refuerzo y lograr el mayor contacto de todos los componentes del concreto, sin vacíos internos. Los métodos de densificación del concreto se pueden dividir en dos grupos:

- Compactación manual.
- Compactación por vibrado.

La compactación manual, históricamente la primera, se efectuaba con barras y pisones. Con ellos se golpea verticalmente el concreto, penetrándola si es con barra o aplastándolo si es con pisón. El grado de compactación que se obtiene con la barra no es elevado, por la condición del material de ser prácticamente inconfinado ante la desproporción de la separación de las paredes del encofrado y el calibre de la barra golpeadora. Dista mucho de ser el caso favorable de la preparación del cilindro para el ensayo de compresión. (*Porrero, 2004*)

La compactación manual dio paso a la compactación por vibrado donde se aprovecha la condición tixotrópica del concreto en estado fresco. Al vibrar la masa de concreto, el material se fluidifica y permite su acomodo al molde, envolviendo las armaduras. Se expulsa gran parte del aire atrapado, se hace subir a la superficie parte del agua con funciones de lubricación y se unifica la masa eliminando vacíos y planos de contacto. El vibrador para concreto fue patentado en 1927 por el técnico francés Deniau, y en 1936 el ACI publicó el primer documento con recomendaciones para su uso.

Hay varios procedimientos para vibrar el concreto:

- Interno, por medio de vibradores de inmersión, o pervibradores.
- Externo, con vibradores de contacto acoplados al encofrado.
- Por medio de mesas vibratoras.
- Vibración superficial con reglas vibratoras.

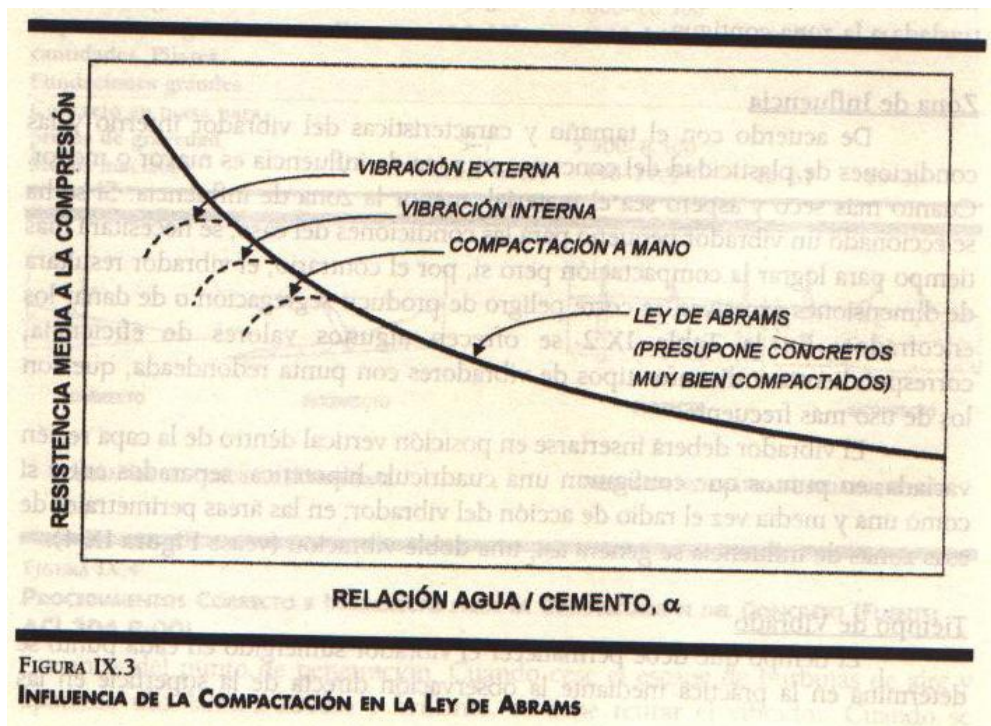
Cualquiera de estos procedimientos de vibrado, permite alcanzar una mayor compactación del concreto a la que se lograría por procedimientos manuales.

Independientemente del método de compactación, en la sección 5.7.4.2 de la norma COVENIN 1753 se establece que: “Durante el vaciado, el concreto se compactará cuidadosamente por medios adecuados y se trabajará con esmero alrededor del acero de refuerzo, de las instalaciones embutidas, así como en las esquinas de los encofrados”.

GRAFICA #1

Influencia de la Compactación en la Ley de Abrams (ver anexo n° 1).

(Fuente: Porrero 2004)



Vibración Interna con Vibradores de Inmersión:

Es el proceso más utilizado. Se lleva a cabo introduciendo verticalmente en la masa, un vibrador que consiste en un tubo con diámetro externo entre dos (02) y diez (10) cm., dentro del cual una masa excéntrica gira alrededor de un eje. La masa es movida por medio de un motor eléctrico y su acción genera un movimiento oscilatorio, de cierta amplitud y frecuencia, que se transmite a la masa de concreto. En situaciones en que se puede disponer de una fuente de aire comprimido, el motor del vibrador puede ser movido neumáticamente y se llama entonces “vibrador neumático” o “de cuña”.

IMAGEN #2

Vibración Interna con Vibrador de Inmersión.



Mecanismo de Densificación

La vibración que recibe el concreto hace que su masa, inicialmente en estado semiplástico, reduzca su fricción interna como resultado del incremento de la presión de poros y la consiguiente licuefacción tixotrópica del mortero. En ese estado semilíquido el material se desplaza y ocupa todos los espacios del encofrado, mejorando su densidad al ir eliminando los vacíos existentes entre los agregados o en el seno de la masa, en forma de aire atrapado. Durante este proceso, que es relativamente rápido, se produce un flujo de agua y cemento hacia la superficie, que adquiere una apariencia acuosa y brillante. Ese

momento se toma como indicación práctica de que en esta zona la masa logró la densificación deseada. A continuación se extrae el vibrador del lugar, vertical y lentamente, y se traslada a la zona contigua. (*Porrero, 2004*)

Zona de Influencia

De acuerdo con el tamaño y características del vibrador interno y las condiciones de plasticidad del concreto, su zona de influencia es mayor o menor. Cuando más seco y áspero sea el material, menor la zona de influencia. Si se ha seleccionado un vibrador pequeño para las condiciones del caso, se necesitará más tiempo para lograr la compactación pero si, por el contrario, el vibrador resultara de dimensiones excesivas, se corre peligro de producir segregación o de dañar los encofrados. (*Porrero, 2004*)

El vibrador deberá insertarse en posición vertical dentro de la capa recién vaciada, en puntos que configuran una cuadrícula hipotética, separados entre sí como una y media vez el radio de acción del vibrador (*ver anexo nº 1*); en las áreas perimetrales de esas zonas de influencia se genera así, una doble vibración. (*Porrero, 2004*)

TABLA #1

Características de Vibradores de Inmersión. (Fuente: ACI 309 R-96)

CARACTERÍSTICAS DE VIBRADORES DE INMERSIÓN, SEGÚN ACI 309 R-96

APLICACIÓN	GRUPO	DIAMETRO PULGADAS (cm)	FRECUENCIA RECOMENDADA CICLOS/MIN (Hz)	RADIO DE ACCIÓN (cm)	RENDIMIENTO COMPACTACIÓN (m ³ /hr)
Concreto de consistencia plástica. Secciones delgadas. Fabricación de muestras de laboratorio. Vibrado de elementos pretensados en zonas congestionadas.	I	3/4-1 1/2 (2-4)	9.000-15.000 (150-250)	8-15	0,8-4
Concreto de consistencia plástica. Muros delgados, columnas, vigas, pilotes prefabricados, losas delgadas, juntas de construcción.	II	1 1/4-2 1/2 (3-6)	8.500-12.500 (140-210)	13-25	2,3-8
Concreto semiplástico, asentamiento menor de 3 pulgadas. Construcción en general, columnas, vigas, losas, muros, pilotes, otros.	III	2-3 1/2 (5-9)	8.000-12.000 (130-200)	18-36	4,6-15
Concreto en masa y estructural, asentamiento de 0 a 2 pulgadas. Depositado en grandes cantidades. Pilares. Fundaciones grandes.	IV	3-6 (7,5-15)	7.000-10.500 (120-180)	30-51	11-31
Concreto en masa para presas de gravedad. Muros macizos.	V	5-7 (12,5-17,5)	5.500-8.500 (90-140)	40-61	19-38

Tiempo de Vibrado

El tiempo que debe permanecer el vibrador sumergido en cada punto se determina en la práctica mediante la observación directa de la superficie en las cercanías del punto de penetración. Cuando cese el escape de burbujas de aire y aparezca una lámina acuosa y brillante, se debe retirar el vibrador. Cuando se

introduce el vibrador se debe llevar rápidamente hasta el fondo, para evitar que compacte la zona superior y se impida la salida de las burbujas de abajo. Al concreto no le conviene ni la falta de vibración, ni el exceso. En el primer caso pueden quedar, en la masa, demasiados vacíos, no eliminados. Esos vacíos significan puntos sin resistencia mecánica y con riesgo de penetración de agentes agresivos. En términos generales, se estima que por cada 1% de vacíos en la masa, se pierde un 5% de capacidad resistente. Si se genera un exceso de vibración en una zona, se corre el riesgo de producir segregación, haciendo que los granos gruesos vayan hacia el fondo, mientras que los finos (*ver anexo nº 1*) y el cemento quedarían sobrenadando en la superficie. (*Porrero, 2004*)

TABLA #2

Procedimientos Correcto e Incorrecto para la Compactación del Concreto.

(Fuente: ACI 304 R-00)



Frecuencia del Vibrador

La frecuencia a la cual trabaja un vibrador es un factor importante. Para materiales fluidos o de granulometrías finas, son preferibles las altas frecuencias, mientras que las bajas son recomendables para granulometrías gruesas y mezclas menos fluidas. (*Porrero, 2004*)

Espesor de las Capas a Vibrar

El espesor de las capas a vibrar dependerá de la geometría del elemento y de las características del vibrador. Se recomienda entre 40 y 50 cm.. En caso de que el elemento sea profundo y deba ser vaciado en dos o más capas, al vibrar la segunda, el vibrador debe penetrar en la capa inferior unos 10 a 15 cm., para evitar la simple superposición de una capa sobre la otra; se logra así fundir en una sola masa, la zona de contacto entre las dos capas. Esto exige una cierta celeridad en el proceso de vibrado ya que la capa inferior tiene que estar fresca todavía para que se pueda producir esa fusión. (Porrero, 2004)

3.3.3 Estabilidad a la segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia de separarse unos de otros. La separación del agua de los demás componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como “*exudación*” o “*sangrado*”, y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse de los granos gruesos del mortero, se conoce como “*segregación*”, la cual depende de la viscosidad y de la tixotropía, estando relacionada directamente con la cantidad y el tamaño de los granos. (Porrero, 2004)

3.4 Trabajabilidad

En la tecnología del concreto, la palabra “*trabajabilidad*” se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento (*ver anexo nº 1*) medido por el procedimiento del *Cono de Abrams*. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo es solo parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas. (Porrero, 2004)

Los agregados de superficie lisa son favorables al mecanismo de lubricación pero desfavorables al mecanismo de fractura. Con agregados limpios y de buena calidad, ambos efectos se equilibran.

Los tamaños máximos grandes son favorables al mecanismo de lubricación pero desfavorables al mecanismo de fractura y tienden a producir segregación. Dependiendo de la segregación de la mezcla, prevalecerá uno u otro efecto.

Para un mismo tamaño máximo, las granulometrías gruesas son beneficiosas en cuanto al mecanismo de lubricación, debido al predominio de granos grandes o poca cantidad de arena, pero están limitadas por la tendencia a la segregación. Sin afectar sustancialmente el mecanismo de fractura. (UNAM, 2001)

3.5 Retracción

Otra característica del concreto que se debe tomar en consideración es la retracción (*ver anexo n° 1*), fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el material con el tiempo, debido principalmente a la pérdida parcial de agua en las primeras horas, pudiéndose presentar grietas en el mismo.

La retracción depende de numerosos factores tales como la geometría de las piezas, las condiciones atmosféricas de velocidad de viento, humedad y temperatura, y la proporción de los componentes de la mezcla. Dentro de esos componentes son decisivos los granos ultrafinos (*ver anexo n° 1*) y el agua. Los granos ultrafinos están formados por el cemento y las partículas más finas de la arena. Para mezclas que tengan arenas con cantidad de ultrafinos dentro de los límites normativos o recomendables, la retracción puede ser considerada como dependiente, fundamentalmente, de la dosis de cemento y de agua, es decir, al aumentar la pasta, la retracción se hace mayor. El exceso de ultrafinos aumenta el requerimiento de agua para mantener la fluidez (*ver anexo n° 1*), con lo cual hay exceso de agua y, a su vez, mayor retracción por secado. (Porrero, 2004)

La retracción se puede producir en dos etapas diferentes de la vida del concreto: una, en los momentos iniciales del fraguado (*ver anexo nº 1*), debida no a la pérdida del agua libre, sino a parte del agua de la mezcla; ésta es conocida como “*retracción de fraguado*” o “*retracción plástica*”. La otra, de menor escala, cuando el concreto está endurecido, generalmente al cabo de semanas o de meses y que es conocida como “*retracción hidráulica*” (aunque hidráulicas son ambas). La retracción temprana, ligada a las condiciones ambientales de viento, humedad y temperatura, es un permanente riesgo potencial en los concretos ejecutados en clima tropical. Este riesgo se combate con buenas técnicas de curado (*ver anexo nº 1*) aún cuando, en situaciones severas, es posible que deba defenderse la calidad del concreto con toldos protectores o pantallas cortavientos. (*Porrero, 2004*).

3.6 COMPONENTES DEL CONCRETO

3.6.1 Agregados

Los agregados, son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuya finalidad es abaratar la mezcla y darle ciertas características favorables, una de ellas disminuir la retracción por fraguado o retracción plástica.

Los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en la del correspondiente concreto.

IMAGEN #3

Patio de Almacenamiento de agregado fino (Arena)



Para concretos de peso unitario normal entre 2200- 2550 kg/m³, generalmente se utilizan los siguientes tipos de agregados:

- Arenas o gravas naturales provenientes de la desintegración y erosión de las rocas por la acción del agua, el viento, el hielo, los cambios de temperatura y los otros fenómenos naturales.
- Arena o gravas manufacturadas por la fragmentación de rocas con explosivos, equipos mecánicos u otros medios similares.
- La roca-madre puede ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico. Las rocas ígneas producen agregados de buena calidad física, con excepción de ciertas tobas. Las sedimentarias son más variables, pero también pueden generar agregados físicamente aptos. Las metamórficas suelen verse con alguna desconfianza en este aspecto, por lo que debe estudiarse cuidadosamente. (UNAM, 2001)

IMAGEN #4

Patio de Almacenamiento de agregado grueso (Piedra 3/4")



Granulometría

Se entiende por granulometría (*ver anexo n° 1*) la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran.

El tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante cedazos de diferentes aberturas calibradas (Norma COVENIN 254, "Cedazos de ensayos" y ASTM E11), los cuales son colocados en cascada, con el de mayor abertura arriba, decreciendo progresivamente hasta disponer el de menor abertura abajo. Al tamizar el material, por agitación, a través de esta serie (Norma COVENIN 255, "Agregados. Determinación de la composición granulométrica" y ASTM C1369), sus granos se distribuyen según sus tamaños. La granulometría se puede expresar de varias formas: retenidos parciales en cada cedazo, expresados en peso o en porcentaje, o retenidos acumulados, o pasantes, principalmente en porcentaje. La forma usual y conveniente es la que expresa el pasante total por cada cedazo como porcentaje en peso. Las Normas y especificaciones fijan límites granulométricos para cada una de las fracciones que se emplean usualmente: gruesos y arena. (*Porrero, 2004*)

De esta manera para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto COVENIN 277, "Concretos. Agregados. Requisitos" y ASTM C33 requiere que en cada fracción exista una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente. Dichos límites, que definen el huso granulométrico son los siguientes:

TABLA #3

Especificaciones Granulométricas de la arena. (Fuente: ASTM C33)

Abertura en mm	Designación ASTM C33	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
9.5	3/8"	0	100
4.75	No 4	0-5	95-100
2.36	No 8	0-20	80-100
1.18	No 16	15-50	50-85
0.600	No 30	40-75	25-60
0.300	No 50	70-90	10-30
0.150	No 100	90-98	2-10

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su modulo de finura (*ver anexo n° 1*), que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar. Se considera que la arena que presenta un módulo de finura adecuado para la fabricación del concreto convencional, si no es menor a 2.30 o mayor a 3.10.

Para el caso del agregado grueso la situación es más compleja, ya que es necesario considerar varias fracciones y los criterios para ello pueden ser diferentes, no solo en los tamaños que se agrupan como fracción, sino además del concepto de las mismas. Una fracción de agregado grueso puede estar concebida para que sea suficiente por sí misma para mezclarla con la arena, pero también puede estar concebida para ser mezclada con otra u otras fracciones de agregado grueso, de mayor o menor tamaño, y además, naturalmente con la arena. Incluso se consideran granulometrías específicas de los gruesos para combinaciones con arenas muy finas, o muy gruesas.

La finalidad principal de una granulometría adecuada es obtener mezclas trabajables y con pocos espacios vacíos entre los granos para que se requiera poca pasta. (Porrero, 2004)

Peso específico

Es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, sin incluir huecos entre granos (Normas COVENIN 268, "Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción" y COVENIN 269, "Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción"). Los valores usuales de estos pesos normativos están para los agregados gruesos y agregados finos entre 2,5 a 2,7. (Porrero, 2004)

El peso específico de una roca puede ser buen índice de su porosidad (ver *anexo n° 1*), pero no necesariamente de su calidad intrínseca, pues hay rocas con peso específico relativamente bajo que son aceptables como agregado para concreto.

Para valores de pesos específicos menores a 2,4, aproximadamente, para la elaboración de concretos con pesos unitarios entre 2200 - 2550 kg/m³, suele ser motivo suficiente para dudar de su aptitud de producir este concreto, y por ende poner en duda la calidad e indagar en su causa. Si el bajo peso específico

de la roca es una condición natural de acuerdo con su origen, y si el correspondiente peso unitario reducido en el concreto no es una limitación objetable, existe la posibilidad de emplear el agregado si demuestra (*ver anexo n° 1*) ser capaz de producir concretos con las propiedades requeridas. Si por otra parte, el bajo peso específico de los agregados es atribuible a un evidente estado de alteración de la roca, en principio lo pertinente es considerarlos inaceptables, a menos que por ser opción única se justifique hacer una investigación más amplia de sus posibilidades de uso.

Porosidad y absorción

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen.

Una excesiva porosidad en la roca puede ser un síntoma de reducida calidad intrínseca, y una roca con ésta característica, al ser empleada como agregado, puede tener efectos indeseables en el concreto por su limitada resistencia mecánica en todos sentidos, su alta deformabilidad y su elevada capacidad de absorber agua.

La medición de la porosidad de las rocas requiere de procedimientos relativamente complicados, por esto no es característica que se acostumbre a determinar en los agregados del concreto, pero es posible tener una idea con la determinación de la absorción (*ver anexo n° 1*).

La absorción se define como el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. En el caso de los agregados, la absorción se determina después de un período de inmersión de veinticuatro horas en agua conforme a las Norma

COVENIN 269, "Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción. (Porrero, 2004)

Forma y Textura de los agregados

Esta característica de los agregados puede influir de manera importante en la calidad del concreto. No hay método de ensayo normativo para cuantificarla en la arena, solo la observación visual con vidrio de aumento. Para los agregados gruesos se hace una estimación de la proporción de partículas planas y alargadas presentes, mediante la medición directa con un vernier, sobre el conjunto de granos de una muestra representativa del total (Norma COVENIN 264, "Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima en agregados gruesos para concreto"). (Porrero, 2004)

Para tratar de establecer lo que es deseable en cuanto a la forma y a la textura superficial de las partículas de los agregados, es necesario considerar los efectos que la variación de éstas características puede producir en el concreto. Específicamente, debe considerarse su influencia en la manejabilidad del concreto en estado fresco y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento (*ver anexo nº 1*) en el concreto endurecido (*ver anexo nº 1*). (Porrero, 2004)

La variación de forma y textura superficial en las partículas de los agregados tiende a producir efectos contrapuestos, en los aspectos mencionados. Estas tendencias pueden resumirse así: las partículas de formas redondeadas y superficies lisas, como las que se encuentran en depósitos aluviales que han sufrido mucho acarreo, producen buena manejabilidad en las mezclas de concreto, pero no son propicias para lograr una buena adherencia con la pasta de cemento; por el contrario, las partículas de formas muy angulosas y superficies ásperas, como ocurre con algunos agregados manufacturados, son inconvenientes para la elaboración de mezclas manejables, pero favorables en lo relativo a su adherencia con la pasta de cemento. (Porrero, 2004)

En condiciones ordinarias suele admitirse que, para niveles moderados de resistencia, los agregados de formas redondeadas son los que permiten lograr

mezclas de concreto de la consistencia y manejabilidad requeridas, con los menores consumos de pasta de cemento.

La presencia de partículas planas o alargadas se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido. *(Porrero, 2004)*

Tamaño máximo

Se denomina tamaño máximo de un agregado al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deja pasar el 95% o más del material. Desde el punto de vista técnico, su relación con las características de la mezcla es decisiva para la calidad y economía de ésta.

Al emplear mayor tamaño máximo se disminuye la superficie específica a ser lubricada por lo que, siendo constante la proporción y calidad de pasta se obtendrá mayor fluidez. *(Porrero, 2004)*

Módulo de finura

Se denomina módulo de finura de las arenas a un parámetro que se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en los cedazos de la serie normativa y dividiendo la suma entre cien. En cierto modo, este valor es representativo de la finura de la arena; se considera que el módulo de finura adecuado de una arena para producir concreto dentro de una granulometría aceptable, debe estar entre 2,3 y 3,1, donde un valor menor que 2,2 indica una arena muy fina, 2,5 una arena media y mas de 3,0 una arena gruesa.

Enumeración de los Cedazos para Calcular el Módulo de Finura. (Fuente: Porrero, 2004)

Cedazo	#100	#50	#30	#16	#8	#4	3/8"	3/4"
Módulo	1	2	3	4	5	6	7	8

El módulo de finura puede considerarse como el tamaño promedio ponderado de un cedazo del grupo en el cual el material es retenido.

El módulo tiene utilidad para detectar con facilidad los cambios que pueda sufrir una determinada arena debido a variaciones en la explotación o en el manejo. Comparar arenas de distinto origen puede conducir a errores y no sustituye la información que brindan las curvas granulométricas completas.

Peso unitario suelto

Se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable, con el agregado, dejándolo caer libremente desde cierta altura. Después se pesa y se establece la relación peso/volumen (norma COVENIN 263, "Método de Ensayo para determinar el Peso Unitario del Agregado"). Este dato es importante porque permite convertir pesos en volúmenes y viceversa cuando se trabaja con agregados. (Porrero, 2004)

Peso Unitario Compacto

Se realiza mediante un proceso parecido al anterior, pero compactando el material dentro del molde (Norma COVENIN 263, "Método de Ensayo para Determinar el Peso Unitario del Agregado"). Es importante para establecer una relación Peso/Volumen, dosificaciones en volumen de diseños de mezclas. (Porrero, 2004)

Humedad

Los agregados suelen retener algunas cantidades de agua en forma de humedad. La humedad se considera como la diferencia en peso entre el material húmedo y el mismo secado al horno. Se suele expresar como porcentaje en peso, referido al material seco.

Esta humedad se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes; una es rellenando los poros y microporos internos de los granos, y la otra es como una película o capa envolvente, mas o menos gruesa. *(Porrero, 2004)*

El agua interna de los granos no pasa al concreto como agua de mezclado; al contrario, cuando los granos se encuentran muy secos, pueden absorber parte del agua de la mezcla. El agua externa de los granos si pasa a formar parte de la mezcla alterando sus proporciones. El punto de equilibrio entre el grano seco y el húmedo se conoce como el estado de agregado saturado con superficie seca.

La humedad en exceso de este punto de equilibrio hace que, en un peso dado de agregado, haya una cierta porción de material diferente al sólido; esa cantidad de agua se incorporará a la mezcla. Por el contrario, la absorción de agua por diferencia entre el grano seco y el saturado con superficie seca, puede retirar importantes cantidades de agua de la mezcla. Estos aportes o retiros alteran consecuentemente la relación agua/cemento. *(Porrero, 2004)*

Para la determinación de la humedad y de la absorción, tanto de los agregados gruesos como de las arenas, hay ensayos normativos (Norma COVENIN 268, "Agregado Fino. Determinación de la humedad y absorción", Norma COVENIN 269, "Agregado Grueso. Determinación de la humedad y absorción", Norma COVENIN 272, "Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado").

3.6.2 Cemento

El cemento es el componente activo del concreto e influye en todas las características de este material. Sin embargo, el cemento constituye aproximadamente de 10 a 20% del peso del concreto, siendo el 80% al 90% de materiales restantes el que condiciona la posibilidad de que se desarrollen las propiedades del concreto. (Porrero, 2004)

De los componentes del concreto, el cemento es el más caro por unidad de peso. Sin embargo, comparado con otros productos manufacturados, el cemento es un material relativamente barato. (Porrero, 2004)

El cemento Portland (*ver anexo n° 1*) es una especie de cal hidráulica perfeccionada. Se produce haciendo que se combinen químicamente unas materias de carácter ácido (sílice y alúmina principalmente), provenientes de arcillas, con otras de carácter básico (primordialmente cal) aportadas por calizas. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogenización. (Porrero, 2004)

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400 °C, hasta que se alcanza un grado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm., cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker Portland. (UNAM, 2001)

Una vez frío, el clinker se muele conjuntamente con una reducida porción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado (*ver anexo n° 1*), y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple. (UNAM, 2001)

El producto resultante no es una especie química o mineralógica única, sino una mezcla compleja de minerales artificiales cuyas denominaciones y formulas están descritas en la siguiente tabla:

TABLA #5

Componentes Mineralógicos del Cemento Portland. (Fuente: Porrero, 2004)

Componente	Fórmula Química	Fórmula abreviada
Silicato Tricálcico	3CaO-SiO_2	C3S
Silicato Dicálcico	2CaO-SiO_2	C2S
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	C3A
Ferritoaluminato Tetracálcico	$4\text{CaO-Al}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3$	C4FA
Yeso	$\text{CaSO}_4 -2\text{H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O}+ \text{K}_2\text{O}$	N + K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	$\text{CaO}+\text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo Insoluble	$\text{SiO}_2+\text{R}_2\text{O}_3$	R.I.

En términos prácticos se concede que los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice de forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C₃A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación (*ver anexo nº 1*) en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento. (*Porrero, 2004*)

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

TABLA #6

Propiedades de los componentes mineralógicos del concreto. (Fuente: Porrero, 2004)

Componente	Propiedades
C3S	<ul style="list-style-type: none"> - Altas resistencias iniciales - Alto calor de hidratación
C2S	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo lento de resistencias - Moderado Calor de Hidratación
C3A	<ul style="list-style-type: none"> - Muy rápido desarrollo de resistencias - Muy alto calor de hidratación - Gran sensibilidad a los sulfatos
C4FA	<ul style="list-style-type: none"> - Útil para la formación de clinker (Fase Líquida)
Adiciones <ul style="list-style-type: none"> - Escoria Siderúrgica - Puzolanas (<i>ver anexo nº 1</i>) - Otros 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo lento de resistencias - Bajo calor de hidratación - Buena resistencia a la agresión química

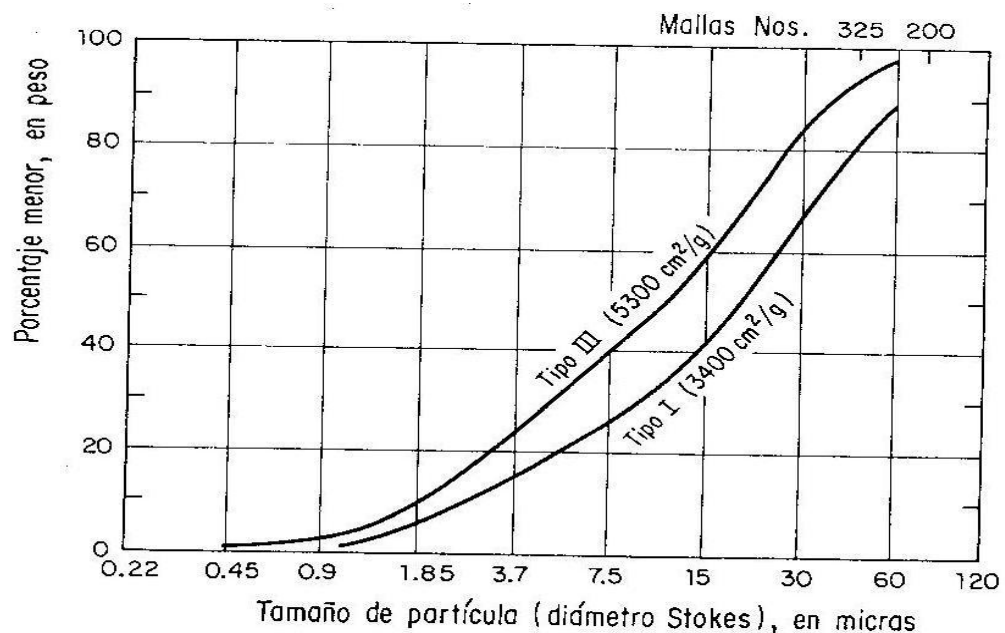
El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. En contrapartida, una finura más alta representa mayor velocidad en la

generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posible agrietamiento en las estructuras. (UNAM, 2001)

Cuando se fabrica cemento portland, prácticamente se muele un solo material (clinker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua (ver anexo nº 1), no obstante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus correspondientes efectos en el concreto. (UNAM, 2001)

GRAFICO #2

Curvas granulométricas de cementos portland tipos I y III. (Fuente: UNAM, 2001)



La Norma COVENIN 28 "Cemento Portland Especificaciones" y la norteamericana ASTM C150, consideran cinco tipos de cemento Portland, cuyas características se presentan a continuación:

TABLA #7

Tipos de Cemento Portland. (Fuente: COVENIN 28:1993)

Tipo	Características
I	Uso general
II	Resistente a los sulfatos y bajo calor de hidratación
III	Altas resistencias iniciales
IV	Muy bajo calor de hidratación
V	Muy alta resistencia a los sulfatos

Cemento Portland Gris tipo III (ver anexo nº 27)

Es un cemento obtenido por la pulverización de clinker Portland especial. Es indicado para el uso en construcciones de concreto cuando se requieran altas resistencias iniciales y finales. Vencemos fabrica y dispone de este producto en sus plantas ubicadas en: Barquisimeto Edo. Lara, Maracaibo Edo. Zulia, Guayana Edo. Bolívar y el Complejo Cementero de Pertigalete en el Edo. Anzoátegui. Este producto cumple con las especificaciones de la norma COVENIN 0028-2003, "Cemento Portland. Requisitos" y ASTM C-150 y es fabricado mediante sistemas de calidad certificados por la Norma ISO 9002 e ISO Platinum. (www.cemexvenezuela.com)

El cemento Portland Gris tipo III es un cemento obtenido por la pulverización de clinker Portland especial, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con la adición de agua y sulfato de calcio. Posee mayor resistencia a la compresión inicial y final debido a la combinación de su composición química, de las características de sus minerales y su alta finura, las cuales son conferidas por utilizar materias primas óptimas, por la tecnología de los equipos de procesamiento y por un proceso de fabricación altamente controlado. (www.cemexvenezuela.com)

Este cemento puede ser utilizado en construcciones generales de concreto convencionales, tales como: Estructuras, placas, muros, fundaciones, etc.; pero dadas sus características y bondades de alta resistencia es muy conveniente para los siguientes casos:

- Estructuras con requerimientos de alta resistencia mecánica inicial y/o final; y de alta capacidad estructural, tales como: estructuras prefabricadas, elementos postensados, puentes, viaductos y losas.
- En estructuras en donde se necesite retirar el encofrado o cimbras en pocas horas de haber vaciado el concreto.
- En obras con requerimientos de puesta en servicio a temprana edad del concreto, tales como: carreteras, puentes y pontones.
- En plantas de elementos prefabricados de concreto, tales como: bloques, tubos, etc.; cuya exigencia de producción en serie y pronta entrega de los elementos exigen el uso de un cemento que haga más eficiente los procesos.

El cemento Portland Gris tipo III es un cemento que supera en requisitos físico-químicos al resto de los cementos producidos en Venezuela, con la mayor resistencia a la compresión y mayor estabilidad, único en el país. Se mencionan los siguientes beneficios para el usuario:

- Incrementa la durabilidad (vida útil) de las obras mediante el diseño y utilización de concretos de alta resistencia.
- El retiro de encofrados en pocas horas, disminuye los tiempos de ejecución mejorando los rendimientos y economía de la obra.
- Pronta puesta en servicio de obras públicas, caso de carreteras, puentes, etc.
- Mejora la productividad y eficiencia en plantas concreteras y de prefabricados.

3.6.3 Agua

El agua es imprescindible en varias etapas e la elaboración del concreto: mezclado, fraguado y curado del concreto (*ver anexo nº 1*). El agua de mezclado

ocupa normalmente entre 15% y 20% del volumen del concreto fresco y, conjuntamente con el cemento, forman un producto coherente, pastoso y manejable, que lubrica y soporta los agregados, acomodables en los moldes. Simultáneamente esta agua reacciona químicamente con el cemento, hidratándolo y produciendo el fraguado en su acepción más amplia, desde el estado plástico inicial, pasando por lo que llamamos endurecimiento hasta el desarrollo de resistencias a largo plazo. *(Porrero, 2004)*

El agua de mezclado cumple dos funciones: hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación al concreto. Se estima que, en ambiente saturado, el agua requerida para hidratación equivale al 25% en peso del cemento; el resto se evapora. La porción evaporada después que el concreto ha sido compactado y alisado, es la causante de la retracción de secado y de la formación de conductos capilares que interconectan poros; estos se llenan parcialmente de aire y producen concretos menos resistentes y durables, por lo que debe usarse el menor volumen de agua que sea posible para obtener la fluidez requerida. *(Porrero, 2004)*

El agua que ya ha sido utilizada anteriormente para elaborar y curar concreto anteriormente con resultados satisfactorios, así como el agua potable, puede ser usada con la misma finalidad, sin mayores ensayos previos, teniendo en cuenta las posibles variaciones estacionales indicadas en la Norma COVENIN 2385, “Agua de Mezclado para concretos y morteros especificaciones” establece los límites de calidad exigidos para el agua. *(Porrero, 2004)*

IMAGEN #5

Agua almacenada para mezclado del concreto.



3.6.4 Aditivos

Reciben el nombre de aditivos aquellos productos químicos que se añaden en pequeña proporción a los componentes principales de los morteros o de los concretos, durante su mezclado, con el propósito de modificar algunas de las propiedades de las mezclas en estado fresco o en estado endurecido. Las limitaciones y especificaciones para el uso de aditivos se presentan en el Artículo 3.5 de la Norma COVENIN 1753, "Proyecto y diseño de obras en concreto estructural". (Porrero, 2004)

Los aditivos representan un gran adelanto dentro de la industria de la construcción con concreto. Muchos de los concretos de los últimos veinte años no hubieran tenido cabida sin los aditivos. Si bien estos productos históricamente comenzaron con comportamientos erráticos y con una composición variable y mal conocida, en la actualidad se ha llevado a efectividades muy favorables y constantes, conociendo perfectamente los fundamentos en los que se basan. La industria de la construcción, que fue cautelosa en la acepción de los aditivos, hoy día los emplea abundante y confiadamente. (Porrero, 2004)

En Venezuela los aditivos llegan a finales de los años cuarenta. En la década de los setenta se comienza su fabricación en el país, incorporando

progresivamente mayor proporción de materias primas nacionales. En la actual tecnología del concreto, los aditivos han perdido su primitivo carácter misterioso y con ello se pueden obtener concretos de mayores exigencias. No resulta exagerado afirmar que, en muchos casos, un aditivo permite el uso de procedimientos constructivos menos costosos. *(Porrero, 2004)*

Los aditivos no siempre han sido usados en forma racional. Conviene destacar que tales productos tienen un campo específico de acción y no deben considerarse como una panacea de carácter general. Un mismo aditivo puede actuar de manera cuantitativa muy diferente con mezclas distintas en su diseño o en sus materiales componentes. *(Porrero, 2004)*

Al evaluar la conveniencia o no del uso de un determinado aditivo se deben tomar en cuenta, no sólo las ventajas que se supone reportará su empleo, sino también las precauciones adicionales a respetar durante todo el proceso. Además del incremento de costo directo que supone la incorporación de un componente adicional, hay que evaluar el costo del control de calidad más cuidadoso que su empleo obliga. Dosis excesivas de aditivos pueden generar reacciones imprevistas (fraguados instantáneos, concreto que no endurece, segregación *(ver anexo nº 1)* y exudación excesiva, disminución importante de las resistencias), y una dosis insuficiente podría no tener efectos. *(Porrero, 2004)*

La presencia cada vez mayor de productos de alto rendimiento, en particular los denominados aditivos superplastificantes *(ver anexo nº 1)*, cuyo efecto tiene limitaciones en el tiempo de duración de su efectividad sobre el concreto fresco, obliga a una cuidadosa planificación de todas las etapas del proceso desde la dosificación *(ver anexo nº 1)* del concreto hasta su compactación *(ver anexo nº 1)*, acabado y curado.

En general se recomienda seguir las indicaciones de uso señaladas por los fabricantes pero, para obtener resultados óptimos, es imprescindible comprobar la efectividad del producto con los materiales y condiciones que se van a utilizar en la obra. Las dosis recomendadas en la literatura técnica y divulgativa deben tomarse sólo como índices aproximados. Las dosis reales deben ser estudiadas

para las condiciones particulares de cada caso mediante la ejecución de mezclas de prueba debidamente controladas. Algunas especificaciones obligan al fabricante a señalar, además de la dosis normal recomendable, la dosis máxima permisible. Las dosis de aditivos se expresan en cantidades proporcionales al peso de cemento y son, según el aditivo, del orden de pocas décimas de por ciento hasta pocas unidades de por ciento (desde 0,1% hasta 5% del peso de cemento). Su presentación es normalmente en forma líquida para ser incorporado directamente, aunque también, existen presentaciones en polvo o en líquidos concentrados para disolución. (*Porrero, 2004*)

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de los aditivos a utilizar en las pruebas de mezcla del Trabajo Especial de Grado:

POLYHEED 728 N

Aditivo reductor de agua (*ver anexo n° 1*) de mediano y alto rango (*ver anexo n° 1*). Mejora la trabajabilidad (*ver anexo n° 1*) sin adición de agua. Aditivo fabricado y distribuido por **degussa Construction Chemicals S.A.** (www.degussa.com)

El **POLYHEED 728 N**, es un aditivo para concreto multipropósito, reductor de agua de alto y mediano rango. Reduce la cantidad de agua requerida para una trabajabilidad dada, permitiendo economías en el costo de cemento manteniendo la relación a/c especificada.

No contiene cloruros añadidos.

Especialmente recomendado para concreto prefabricados o donde se requieran altas resistencias iniciales. (www.degussa.com)

Cumple con las normas COVENIN 356-1994 “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones.”, Y ASTM C494 para aditivos tipo A y F.

IMAGEN #6

Muestra representativa para mezclas de prueba de POLYHEED 728 N.



Ventajas:

El concreto producido con **POLYHEED 728 N**, proporciona las siguientes cualidades al concreto:

- Mejor trabajabilidad sin modificar la relación a/c.
- Mejores acabados en el concreto de obra limpia.
- Baja permeabilidad, alta durabilidad
- Menor dispersión de resultados.

- Aumento a temprana edad de las resistencias a compresión, flexión y flexo-tracción.
- Control de la segregación por deficiencia en el contenido de finos.
- Mejores características de manejabilidad capacidad de bombeo.

Usos recomendados:

Se recomienda el uso del **POLYHEED 728 N**, donde se requieran altas resistencias a temprana edad. (www.degussa.com)

Mejora las características del concreto en estado fresco como endurecido, así como la impermeabilidad para concretos que requieran esta propiedad.

El aditivo **POLYHEED 728 N**, no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo (*ver anexo nº 1*) del concreto. Este aditivo no contiene cloruro de calcio o ingredientes con base a cloruro que hayan sido adicionados de manera intencional. (www.degussa.com)

Datos Técnicos:

Aspecto: Líquido color café.

Compatibilidad: Puede emplearse en combinación con otros aditivos de la línea **degussa Construction Chemicals S.A.** Siendo 100% compatible cuando se adicionen separadamente la mezcla. (www.degussa.com)

Dosis:

POLYHEED 728 N se recomienda en un rango de 4 a 12 cc. Por cada kilo de cemento, dependiendo de la aplicación o retención del asentamiento deseado.

Las condiciones de obra y/o los materiales utilizados pueden hacer necesario el uso de una dosificación diferente a la recomendada.

Modo de uso:

POLYHEED 728 N, debe adicionarse al concreto con el agua de mezcla (preferiblemente en el último tercio) nunca directamente sobre el cemento o los agregados. (www.degussa.com)

Vida en Almacén:

En envases originales cerrados, almacenados en sitio fresco y seco, mínimo un año.

IMAGEN #7

Almacenamiento del Aditivo POLYHEED 728 N.



WRDA-79 es una solución de lignosulfonato de alta pureza, conteniendo un catalizador que produce una hidratación rápida y completa del cemento Portland. Es fabricado y transportado por **Grace Construction Products**. (www.grace.com)

WRDA-79 Es fabricado bajo controles estrictos que permiten un desempeño uniforme y predecible.

WRDA-79 no contiene cloruro de calcio. Es un líquido marrón oscuro, de baja viscosidad, listo para usar. Su peso específico es 1.18 gr/cm^3

WRDA-79 hace la mezcla más trabajable con una reducción de agua de hasta un 15%. Produce concreto más resistente, menos permeable y de mayor durabilidad. Es usado en plantas de premezclado, concreto insitu, pavimentos, concretos normales, livianos, en plantas de premoldeados y pretensados. (www.grace.com)

IMAGEN #8

Almacenamiento del Aditivo WRDA – 79.



Es un aditivo químico. Como agente dispersante **WRDA-79** disminuye la tracción natural entre las partículas de cemento en el agua. Esto se realiza por acción coloidal, por absorción sobre las partículas de cemento reduciendo su tendencia a aglomerarse haciendo la mezcla más trabajable con menor cantidad de agua. Como catalizador **WRDA-79** produce una hidratación más completa del cemento, comenzando inmediatamente después que el cemento y el agua entran en contacto. **WRDA-79** incrementa el gel contenido en el concreto, la pasta que une a los agregados del concreto entre sí. El aumento del contenido del gel sumado a la reducción del agua y la cohesividad interna de la mezcla reduce la exudación y la segregación incrementando la trabajabilidad y la aptitud de colocación. (www.grace.com)

IMAGEN #9

Muestra representativa de aditivo WRDA – 79 para mezclas de prueba.



WRDA-79 Reúne los requerimientos de ASTM C494 y COVENIN 356-1994 “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones.” produciendo reducción de agua sin retardo. La hidratación del cemento continúa rápida y completamente después de su adición. (www.grace.com)

La cantidad de **WRDA-79** a ser usada es de 3 a 6 cc por kg de cemento. Puede ser adicionado a la mezcla o en el agua.

WRDA-79 es compatible con concretos que contengan, retardadores de fraguado e incorporadotes de aire, cada aditivo debe ser colocado separadamente.

GLENIUM 3000 NS

El **Glenium 3000 NS** es un aditivo reductor de agua de alto rango (*ver anexo n° 1*) listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos (*ver anexo n° 1*) patentados en la tecnología del policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de cemento con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones en el concreto autocompactante. (www.degussa.com)

IMAGEN #10

Muestra representativa de aditivo GLENIUM 3000 NS para mezclas de prueba.



Entre sus principales ventajas se encuentra:

- Cumple con la especificación ASTM C 494 y COVENIN 356-1994 “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones.” para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango, Tipo F.
- Mezclas de concreto cohesivas sin segregación.
- Menor contenido de agua para un asentamiento determinado.
- Reducción lineal de agua en todo el rango de la dosis recomendado.
- Menor costo de producción debido a un vaciado más rápido, mejor acabado y menores costos de curado.
- Incremento en el desarrollo de resistencias a compresión y a flexión durante todas sus etapas.
- Rotación más rápida de encofrados debido a un rápido desarrollo de resistencias iniciales. (www.degussa.com)

Usos recomendados:

- Concreto donde el control de manejabilidad y el tiempo de fraguado son críticos.
- Concreto donde se requiera reducción de agua de alto rango (12% a 40%).
- Concreto donde se requieran altas resistencias iniciales y finales y mayor durabilidad.
- Producción de mezclas de concreto autocompactante.

- Aplicaciones en construcción Civil y Minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grout, vaciados en masa en tubos, rellenos cementicios o pozos de sondeo. (www.degussa.com)

VISCOCRETE 6

Sika Viscocrete 6 es la tercera generación de superplastificantes para concreto y mortero, sobrepasa ampliamente con los requerimientos de los superplastificantes según la norma ASTM C-494, COVENIN 356-1994 “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones.” Tipo F. (www.sika.com)

IMAGEN #11

Almacenamiento del Aditivo VISCOCRETE - 6.



Usos:

- **Sika Viscocrete 6** es adecuado para la producción de prefabricados de concreto. (www.sika.com)
- **Sika Viscocrete 6** facilita extremadamente la reducción de agua, aumenta la fluidez manteniendo cohesiva la mezcla.
- El concreto preparado con este aditivo se comporta como autocompactante.
- **Sika Viscocrete 6** es usado en los siguientes tipos de concreto:
 1. Prefabricados de concreto o cuando no se requiera tiempo extendido de manejabilidad.
 2. Concreto autocompactante.
 3. Concreto con alta reducción de agua (40%).
 4. Concretos de alta resistencia.
 5. Sistemas Outinord y Contech.
- Por la alta reducción de agua, excelente fluidez y las altas resistencias se obtiene con este aditivo una influencia positiva en las aplicaciones anteriormente mencionadas.

Ventajas:

El Sika Viscocrete 6 actúa por diferentes mecanismos a través de la adsorción superficial y los efectos de la separación estérica sobre las partículas de cemento, correspondientes a los procesos de hidratación, las propiedades obtenidas son: (www.sika.com)

- Alta compactación, es conveniente para producción de concreto autocompactante.
- Alta reducción de agua.
- Excelente fluidez.

- Incrementa el desarrollo de resistencias tempranas.
- Mejora el comportamiento ante las retracciones del concreto.
- Reduce la velocidad de carbonatación del concreto.
- **Sika Viscocrete 6** no contiene cloruros ni otro tipo de agentes agresores u otros productos que generen corrosión del acero, este puede ser usado sin restricciones en la producción del concreto armado (*ver anexo n° 1*) y pretensado.

Datos Técnicos:

Color: Ámbar claro.

Almacenamiento: 1 año en sitio fresco y bajo techo en su envase bien cerrado.

Estado Físico: Líquido.

Densidad: 1.07 ± 0.03 kg/l.

pH: 5 ± 2 unidades. (www.sika.com)

Modo de Empleo:

Sika Viscocrete 6 es adicionado a la báscula del agua o simultáneamente con esta, vertiéndolo en la mezcla de concreto. Para lograr una óptima reducción de agua, recomendamos mezclarlo por un mínimo de 240 segundos. (www.sika.com)

IMAGEN #12

Muestra representativa de aditivo VISCOCRETE - 6 para mezclas de prueba.



Colocación del Concreto:

El uso de **Sika Viscocrete 6** permite la producción de concreto de alta calidad.

El cumplimiento de las normas que permitan una adecuada producción y colocación del concreto, también deben ser observadas al usar el **Sika Viscocrete 6**. (www.sika.com)

Es recomendable hacer pruebas de laboratorio previas si se planea usar combinaciones con otro tipo de aditivo.

3.7 PREPARACION Y MEZCLADO

3.7.1 Modos de preparación

Hay que distinguir entre los concretos preparados en la propia obra, bien sea para pequeños volúmenes o para grandes cantidades, y los concretos elaborados en plantas de premezclado que luego son trasladados a la obra. *(Porrero, 2004)*

3.7.2 Premezclado Comercial

Empresas especializadas preparan y trasladan el concreto, directamente al sitio de obra. El permanente despacho de mezclas otorgaría a tales empresas un conocimiento y una experiencia en la tecnología del concreto que permita garantizar la calidad y economía en el uso del material. Los premezcladores tienen en sus manos poderosos recursos técnicos y económicos debido a los grandes volúmenes de materiales que manejan. *(Porrero, 2004)*

IMAGEN #13

Premezclado Comercial, llenado de camión.



3.7.3 Dosificación por peso

Para la dosificación por peso se recurre a pesadas de los materiales granulares (cemento y agregados (*ver anexo n° 1*)). El agua y los aditivos se incorporan en volumen, aceptando la aproximación de que un litro de agua equivale a un kilogramo de agua. Hay diversos mecanismos que logran pesadas seguras y rápidas: mecanismos, eléctricos, hidráulicos o con celdas de carga. (*Porrero, 2004*)

IMAGEN #14

Correa transportadora de los agregados del patio de almacenamiento a la dosificadora



Estos dosificadores toman cada material de la tolva donde está almacenado y pueden ser automáticos y manuales; es decir, que corten el flujo del material cuando se llega al peso programado, o que indiquen en todo momento el peso del material acopiado y permitan disponer de una palanca u otro mecanismo de cierre, al alcanzar el peso deseado. (*Porrero, 2004*)

IMAGEN #15

Tolva de almacenamiento de cemento.



La eficiencia de los dosificadores depende tanto de su calidad intrínseca como de su mantenimiento y calibración. Las normas ASTM C94 y el ACI 311 5R-97, entre otras, señalan las tolerancias admisibles para estos equipos.

IMAGEN #16

Carga de camión de Concreto Premezclado.



3.8 CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

El concreto autocompactante es diseñado para fluir y consolidarse adecuadamente, en secciones o áreas congestionadas con acero, a través de su propio peso y sin segregarse. Este tipo de concreto fue propuesto por Okamura en 1989 como solución al hallazgo de ciertas fallas estructurales en muchos de los puentes de Japón. Okamura concluyó que la consolidación inadecuada del concreto había sido la razón principal de la poca durabilidad en el concreto de Japón. (*Hidalgo Julissa, 2004*)

La pobre consolidación del concreto provocó fallas estructurales cerca del refuerzo y las mismas estaban deteriorando las estructuras. De esta forma nace el concreto autocompactante el cual es capaz de extenderse por la fuerza de su propio peso y de fluir sin ningún tipo de vibración. (*Hidalgo Julissa, 2004*)

Para que una mezcla de concreto autocompactante tenga un buen comportamiento la misma debe ser estable. La estabilidad se define como la habilidad que tiene una mezcla de concreto autocompactante para retener una distribución uniforme de todos sus materiales constituyentes, una vez el mismo sea colocado. Una mezcla es inestable si la misma presenta sangrado, segregación o bloqueo de agregado. El concreto autocompactante es considerado un concreto innovador por su alta fluidez. Por otro lado, si la fluidez del mismo no presenta un buen comportamiento, la mezcla puede presentar problemas de inestabilidad. Si la mezcla es inestable, esta puede presentar serios problemas durante el período de colocado y en su comportamiento a largo plazo. Por ende, la estabilidad del concreto autocompactante es muy importante para el éxito de esta nueva tecnología. (*Hidalgo Julissa, 2004*)

3.8.1 Métodos de prueba

La estabilidad del concreto autocompactante puede ser caracterizada de acuerdo a tres propiedades: habilidad de llenado, habilidad de acomodo, y resistencia a segregación. Un concreto se clasifica como concreto

autocompactante si se cumplen cada una de estos requerimientos. Todavía no existen estándares oficiales de ASTM para medir la estabilidad del concreto autocompactante puesto que aún se están realizando más investigaciones. Por otro lado, existen ciertos métodos, fuera de la jurisdicción del ASTM, que han sido evaluados y utilizados con gran confianza para medir la estabilidad del concreto. *(Hidalgo Julissa, 2004)*

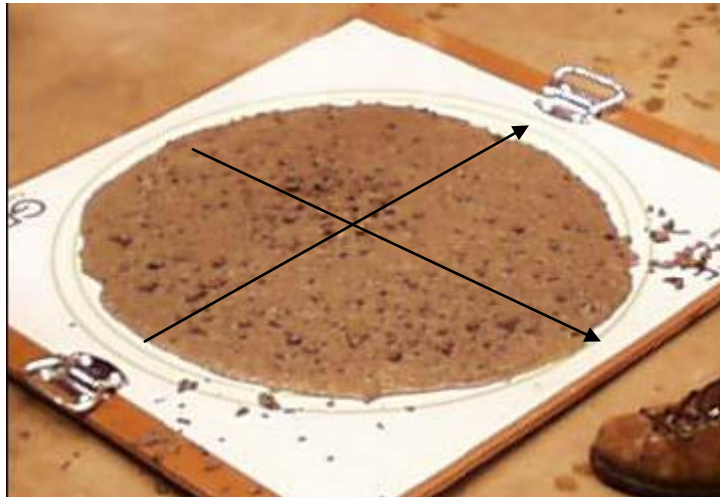
Ensayo de Extensibilidad o cono de revenimiento.

La prueba de extensibilidad es uno de los métodos mas populares que ha sido utilizado para medir la habilidad de llenado que tiene un concreto autocompactante.

La diferencia entre esta prueba y la de revenimiento para un concreto convencional, es la forma en que se toman las medidas. Para un concreto convencional se mide la distancia que el concreto se consolida o se desplaza por gravedad una vez que el cono se levanta; la medida es tomada desde el tope del cono hasta el tope de la masa de concreto. Mientras que para el concreto autocompactante la prueba consiste en tomar el promedio de los diámetros perpendiculares que se obtienen de la extensibilidad del concreto. *(Hidalgo Julissa, 2004)*

FIGURA #1

Cono de revenimiento *(Fuente: Hidalgo Julissa, 2004)*



Esta prueba debe registrar la extensibilidad del concreto, los diámetros deben ser tomados una vez que el concreto pare de fluir. El rango aceptable para esta prueba tiene un diámetro mínimo de 60 cm. y uno máximo de 75 cm.

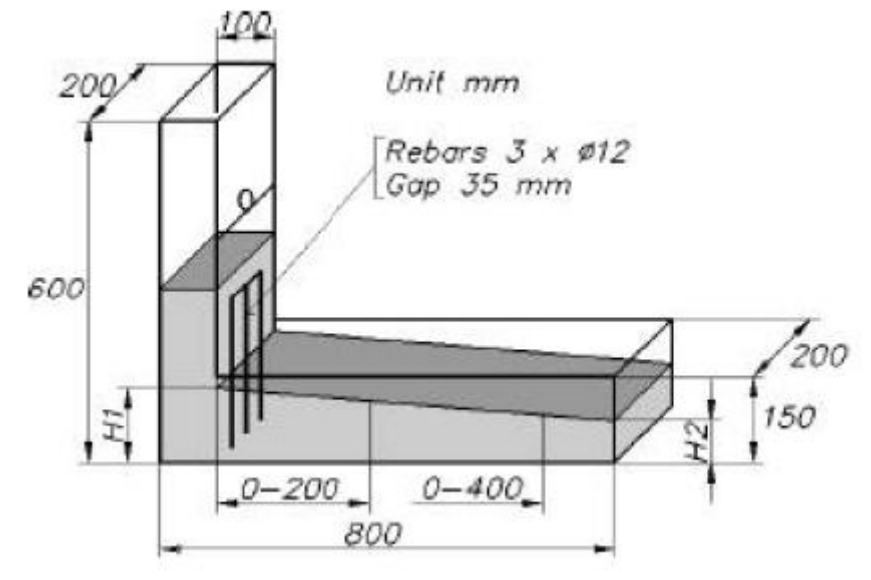
Otra información valiosa que se puede obtener de esta prueba es la resistencia a segregación del concreto autocompactante.

Ensayo de la caja L

La caja L simula el proceso de colocado del concreto autocompactante. Esta prueba consta en forzar una muestra de concreto a través de unos obstáculos de acero; el concreto debe fluir a través de estos obstáculos por presión de gravedad y con la fuerza de su propio peso. El aparato consiste de dos secciones rectangulares conectadas en forma de L. Estas secciones, vertical y horizontal, están conectadas por una puerta que es abierta para que el concreto fluya a través del acero. La figura #2 muestra un dibujo del aparato y sus dimensiones. La parte horizontal y vertical de la caja tiene una longitud de 600 mm. y 800 mm., respectivamente. La anchura del sistema es de 200 mm. a través de todo el aparato. Este tiene tres varillas de acero sujetas al principio de la parte horizontal, cercano a la puerta. El tamaño y espaciamiento de las varillas debe depender del diseño del concreto autocompactante, aunque usualmente las varillas utilizadas tienen un diámetro de 12 mm y el espaciamiento es de 35 mm. (Hidalgo Julissa, 2004)

FIGURA #2

Caja L (Fuente: Hidalgo Julissa, 2004)



El valor de $H2/H1$ es el parámetro indicativo de esta prueba, este valor representa la pendiente del concreto en reposo la cual indica la habilidad de pasado a través del acero. Valores aceptables para $H2/H1$ están en un rango de 0,80-0,85. El valor de $H2/H1 = 1$ representa un concreto nivelado en la parte horizontal; esto puede ser una indicación de muy baja viscosidad y posible segregación. Valor de $H2/H1 = 0$ indica muy pobre habilidad de pasado. (Hidalgo Julissa, 2004)

Las dimensiones de este equipo; o sea el volumen de la caja, la cantidad de acero, el tamaño del acero y el espaciamiento; aun son variables en esta prueba. La razón principal para esto es que las dimensiones dependen de la aplicación particular en la cual se va a utilizar. Por otro lado, esta prueba es muy efectiva para medir la habilidad de pasado del concreto autocompactante, por ende, esta prueba esta bajo propuesta para ser estandarizada por el ASTM y de esta forma las dimensiones de este equipo quedaran establecidas. (Hidalgo Julissa, 2004)

Resistencia a la segregación.

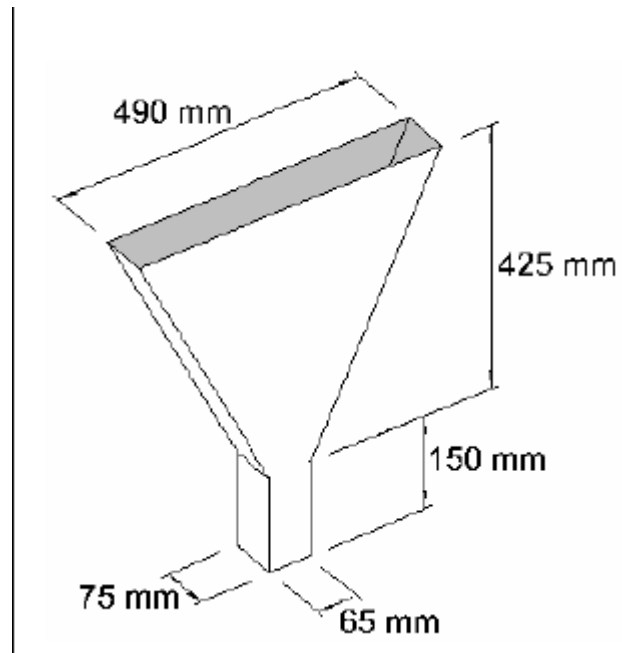
La resistencia a segregación de un concreto autocompactante es una propiedad que debe cumplirse para considerar este concreto como aceptable. Este debe cumplir con los requerimientos necesarios para una buena habilidad de llenado y pasado. La misma es aceptable cuando la composición del concreto autocompactante permanece uniforme a través del transporte y colocado del mismo. Una buena resistencia a segregación significa que la distribución de las partículas de agregado en el concreto es relativamente equivalente en todas las localizaciones. La resistencia a segregación del concreto autocompactante es pobre cuando la fluidez no es buena, cuando existe bloqueo de agregados en el acero, cuando existe alta contracción por secado o no existe uniformidad en la resistencia a segregación. El concreto autocompactante es un material fluido muy susceptible a segregación, por ende, el desarrollo de métodos apropiados para la evaluación de la resistencia a segregación son importantes. (*Hidalgo Julissa, 2004*)

Ensayo de la caja en V.

Esta prueba fue diseñada en Japón. La prueba de la caja en V es usada para medir la habilidad de llenado pero a su vez es usada para evaluar la resistencia a segregación. Este aparato es en forma de V cuyas dimensiones se ilustran en la Figura 3. Al final de su forma en V tiene una sección rectangular que se extiende 150 mm. de longitud. (*Hidalgo Julissa, 2004*)

FIGURA #3

Caja en V (*Fuente: Hidalgo Julissa, 2004*)



El criterio aceptable para la habilidad de pasado y resistencia a la segregación del concreto autocompactante tiene un rango de 4-12 segundos. (Hidalgo Julissa, 2004)

CAPITULO IV

MÉTODO

En el proceso de crear soluciones los ingenieros investigan; entre otras actividades tienen que experimentar, organizar información, diseñar, deducir y formular conclusiones inteligentes a partir de observaciones. *“Por otra parte, si bien es cierto, que la investigación pura es una modalidad primordial de la investigación científica y su objetivo es generar conocimientos, también existe la investigación aplicada y la de desarrollo, ésta última vinculada a la ingeniería en razón de su carácter multidisciplinario, determinado por necesidades sociales y enfocado a la solución de problemas”.* (J. Hurtado de Barrera, 2000)

4.1 Tipo de Investigación

De acuerdo al problema planteado y en función de sus objetivos, se incorpora el tipo de investigación experimental. Esta consiste en manipular las variables de interés, de modo controlado, observando de qué manera afecta la condición a estudiar.

4.2 Diseño de la investigación

En la investigación planteada, cuyo objetivo general esta referido a Diseñar y evaluar una mezcla de concreto autocompactante que será producida en una planta de premezclado utilizando aditivos físico-químicos y agregados disponibles en canteras de la zona capital, se aplicará un diseño experimental. Este diseño será experimentalmente puro, ya que se realizará en laboratorio, manipulando las variables independientes, bajo una situación controlada, a fin de detectar sus efectos sobre las variables dependientes, para determinar la factibilidad operativa en campo.

4.3 Instrumentos de recolección de información

En función de los objetivos planteados en la presente investigación, se utilizaran una serie de instrumentos y técnicas de recolección de información, orientadas a alcanzar los fines propuestos.

Se consultará bibliografía relacionada con el estudio de la tecnología del concreto, páginas web donde existan antecedentes y/o tópicos sobre concreto autocompactante y tesis realizadas anteriormente por estudiantes y/o profesores.

Se recopilará información de los ensayos de laboratorio: cono de revenimiento, caja L, embudo en V, porcentaje de aire, tiempo de fraguado y ensayos a compresión, así como la información necesaria para la caracterización de los agregados, peso unitario suelto y compacto, peso específico y absorción, granulometría, disgregabilidad a los sulfatos, desgaste y pasante #200, esta información será recabada en las planillas diseñadas por Cemex Venezuela para el diseño y desarrollo de nuevos productos.

4.3.1 Descripción de los Instrumentos

Instrumentos y equipos de trabajo utilizados:

- Equipo menor: aquí están concentradas todas las herramientas livianas utilizadas para la elaboración del concreto y para el ensayo de las probetas, estas son: cucharones, guantes, cinta métrica, cuchara de albañil, cepillo de alambre, espátula, bolsas de escombros para transporte de materiales, y plancha metálica para el ensayo de extensibilidad.
- Cono de Abrams: construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1.5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono de 200 ± 2 mm de diámetro de base mayor, 100 ± 2 mm de diámetro de base menor y 300 ± 2 mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono, el molde debe estar provisto de asas y bridas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias tales como remaches. (Según Norma COVENIN 339-1994).
- Mezcladora: de tambor rotativo, llamada así, ya que el recipiente de mezclado es un tambor con paletas fijadas a las paredes internas el cual gira alrededor de un eje, además es basculante, ya que la descarga se realiza volteando el tambor. (Según Norma COVENIN 1680-1980). (*ver anexo nº 36, Imagen #46*)
- Moldes Cilíndricos: metálicos, rígidos, estancos de superficie interior lisa, no absorbente y que no reaccione con el concreto. Deben estar provistas de una base metálica maquinada, de tal manera que se consiga un cierre hermético.

- Carretilla: Construida con lámina de acero, con rueda de goma para amortiguar sacudidas durante el transporte, posee una capacidad aproximada de 60 litros. (ver anexo n° 36, Imagen #47)
- Prensa hidráulica para cilindros: Es una prensa marca Controls, modelo Sercomp 2, que funciona de manera digital, posee una velocidad de carga entre 1.4 Kg/cm²/seg. A 3.5 Kg/cm²/seg. Y con capacidad de 200 toneladas, suficiente para producir la rotura de la probeta. (ver anexo n° 36, Imagen #37)
- Penetrómetro: marca Humboldt, modelo Acme, funciona por medio de agujas que se encuentran calibradas, estas por medio de presión penetran en el mortero confinado en una concha metálica, el penetrómetro es utilizado para estimar en que momento comienza y en que momento termina el fraguado del mortero tamizado del concreto fresco. Consta de 6 agujas de penetración y la fuerza es leída en un indicador con apreciación de 2 lbf.
- Presiómetro: marca Humboldt, tipo "B", funciona por el principio de la Ley de Boyle, comparando los cambios en la presión barométrica del concreto fresco. Consta de un envase de metal con capacidad de 0.006 m³, una jeringuilla, barra de apisonamiento y posee una bomba incorporada para mayor facilidad de trabajo. (ver anexo n° 36, Imagen #49)

4.4 Análisis de Costos

El parámetro con el cual se analizarán los costos es Bs./m³ de concreto, en donde se tomarán en cuenta los costos de la materia prima dados en la mezcla obtenida, es decir, los agregados, el cemento y aditivos, y los costos de producción del concreto.

En base a este parámetro, se comparará el costo total del concreto autocompactante con los costos de los concretos convencionales de resistencias similares, en donde también se tomará en cuenta el ahorro en mano de obra, y equipos de compactación.

4.5 Procedimiento para el desarrollo del diseño de mezcla

El principal criterio para el diseño de la mezcla de concreto se basa en la cantidad de finos necesarios para desarrollar un concreto autocompactante. El aporte de ultrafinos a la mezcla debe estar sobre los 450 kg/m³. De esta manera se debe fijar una combinación granulométrica que al sumar a la cantidad de cemento en la mezcla se logre la cantidad de ultrafinos necesaria para el buen comportamiento de la mezcla.

La cantidad de cemento será fijada por razones de costos en un rango de 330 a 350 Kg/m³, de manera que el aporte de la combinación granulométrica de finos a la mezcla deberá estar sobre los 120 Kg./m³.

Se estudiará el comportamiento de la mezcla con diferentes tamaños máximos de agregado grueso, de manera que se variará los tamaños para observar los resultados. Se comenzará con un tamaño ¾", tanto de origen calizo como de origen silicio, para luego efectuar mezclas con agregados de tamaño 3/8" de origen silicio.

Luego de la escogencia del agregado grueso, se determinará el beta de la mezcla, el cual se irá variando a medida que se observen los resultados de las mezclas. La granulometría de la arena determinará el beta mas apropiado, dependiendo del aporte de finos que tenga la misma a la mezcla, se deberá llegar mediante esta relación a la cantidad recomendada de finos, es decir, no menor a 450 kg/m³.

De ser necesario, será imperiosa la introducción de un tercer agregado, como el polvillo de piedra o el polvillo de electrofiltro, de manera de aumentar la cantidad de ultrafinos que no puedan ser aportados por la arena. El polvillo será tomado como un agregado fino, de manera que el beta se calculará de la siguiente manera $\beta = (F + P)/(F + P + G)$ donde "F" es el agregado fino, "G" es el agregado grueso y "P" es el polvillo agregado a la mezcla.

Para la parte de aditivos, se trabajara con las dosis recomendadas por los fabricantes, donde se buscará la mejor dosificación de cada uno de ellos dependiendo de los resultados que se obtengan en dicha mezcla.

Con los diseños obtenidos aquí se comenzaran las mezclas de prueba, estas mezclas se realizaran por el método de experimentación pura, manipulando las variables en forma controlada hasta lograr llegar al diseño final, para la validación estadística.

4.6 Procedimiento utilizado para la caracterización de los agregados

El procedimiento utilizado para la caracterización de los agregados, fue llevado acabo mediante las normas COVENIN respectivas.

El material (agregados) fue extraído de los patios de almacenamiento de la planta y de las canteras mediante lo provisto en la norma COVENIN 270:1998 “Agregados. Extracción de muestras para morteros para morteros y concretos (COPANT 3: 2-005 (ASTM D75))”.

El tamizado del agregado se realizó siguiendo lo establecido en la norma COVENIN 2232:1985 “Ensayo de tamizado”.

La determinación de la composición granulométrica se llevó a cabo mediante la norma COVENIN 255:1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica (ASTM C136)”.

Para la determinación del pasante #200 de los agregados utilizados, se siguieron los pasos descritos en la norma COVENIN 258:1977 “Método de ensayo para la determinación por lavado del contenido de materiales más finos que el cedazo COVENIN 74 micras en agregados minerales (ASTM C117)”.

El peso unitario tanto suelto como compacto de los agregados, se realizó siguiendo la norma COVENIN 263:1978 “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado (ASTM C29)”.

El desgaste de los agregados gruesos fue calculado mediante la máquina de los Ángeles y los pasos a seguir se rigieron por la norma COVENIN 267:1978 “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos mayores de 19,0 mm. por medio de la máquina de Los ángeles (ASTM C127)”.

La determinación de la densidad y la absorción de los agregados, tanto finos como gruesos se llevó a cabo mediante las normas COVENIN 268:1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción (ASTM C128)” y COVENIN 269:1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción (ASTM C127)”.

La disgregabilidad a los sulfatos fue determinada mediante la norma COVENIN 271:1978 “Método de ensayo para determinar la disgregabilidad de agregados por medio del sulfato de sodio o sulfato de magnesio (ASTM C88)”.

Por último los resultados obtenidos fueron comparados y analizados por la norma COVENIN 277:2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”.

4.7 Procedimiento utilizado para la elaboración del concreto autocompactante

A fin de garantizar mezclas de calidad, que generen resultados confiables, se seguirán las sugerencias dadas por el Manual del Concreto Estructural para mezclas de laboratorio, así como la Norma Covenin 354:2001 “Concreto. Método para mezclado en laboratorio”.

El proyecto se dividirá en dos fases, la primera será una fase de mezclas de prueba, donde se efectuarán los ensayos respectivos para el concreto autocompactante en estado fresco, donde se evaluarán los numerosos cambios que se pueden modificar debido a la presencia de múltiples variables y como segunda fase, una vez elegido el diseño óptimo, se procederá a la validación del diseño donde se efectuaran quince (15) mezclas, con sus respectivos ensayos en estado fresco y con la elaboración de los cilindros. Para el respectivo análisis estadístico de las resistencias del Concreto autocompactante se tomarán setenta (70) cilindros para ser ensayados a veinte y cuatro (24) horas, a siete (7) días y a veinte y ocho (28) días. De esta manera se obtendrá la curva de ganancia de resistencia del concreto autocompactante.

Los pasos a seguir en cada ensayo de mezclado para la primera fase serán los siguientes:

En el desarrollo de las mezclas serán llevados a cabo tres tipos de mezclado:

4.7.1 Tipos de mezcla

Mezcla tipo #1:

1. Recolección de material en sitio de acopio mediante bolsas plásticas y sacos de escombros.
2. Se toma una muestra significativa a la arena recolectada y se realiza el ensayo de contenido de humedad, por el método del frasco de Chapman.
(ver anexo N° 31)

IMAGEN #17

Realización del ensayo de humedad por el método del frasco de Chapman



3. Una vez conocida la humedad de la arena, se calculará el peso real de los agregados (*ver anexo nº 36, Imagen #50*), el volumen real de agua, peso del cemento, cantidad de aditivo(s) (*ver anexo nº 36, Imagen #55*) y si es necesario material ultrafino de adición. Cabe destacar que el volumen a obtener por cada mezcla es de 45 litros.
4. Se realizará el pesaje y la medición de todos los componentes de la mezcla.

IMAGEN #18

Recolección y pesada de los agregados para la mezcla.



5. El tambor de la mezcladora será humedecido con agua para evitar que parte de la mezcla quede adherido a las paredes del equipo.
6. Se procede a colocar en primer lugar el agregado grueso, añadiendo una porción de agua de mezcla para humedecer la superficie del agregado, mezclándolos por un intervalo corto de tiempo, esto ayudará a la adherencia, ya que el agregado se limpia de cualquier partícula fina que presente en la superficie.

IMAGEN #19

Agregado grueso.



7. Se coloca el agregado fino en la mezcladora y de ser necesario el material ultrafino, mezclándolos por un intervalo corto de tiempo.
8. Se introduce el cemento en la mezcla de agregado y se procede a dar mezcla.

IMAGEN #20
Introducción del Cemento.



9. Con el trompo mezclador (*ver anexo nº 1*) en movimiento y en posición inclinada, aproximadamente 45° con la horizontal, se vierte el resto del agua de la mezcla junto con el aditivo disuelto.

IMAGEN #21

Mezcla del aditivo con el agua.



10. La duración del mezclado es 44 minutos, que se repartirán de la siguiente manera

- Diez minutos de mezclado (Etapa inicial)
- Diez minutos en estado de reposo
- Siete minutos de mezclado (2da etapa)
- Siete minutos en reposo
- Diez minutos de mezclado (Etapa final)

IMAGEN #22

Mezclado del concreto.



11. Después de este proceso se llevan a cabo los ensayos correspondientes con los criterios de aceptación y rechazo.

IMAGEN #23

Proceso de extracción del concreto.



Mezclado tipo #2:

Los pasos a seguir para la realización de la mezcla #2 son similares a la mezcla #1, desde el paso 1 hasta el paso 9.

10. La duración del mezclado es 44 minutos, que se repartirán de la siguiente manera

- Diez minutos de mezclado (Etapa inicial)
- Diez minutos en estado de reposo
- Siete minutos de mezclado (2da etapa)
- Siete minutos en reposo
- Diez minutos de mezclado (Etapa final)

El aditivo WRDA-79 es dosificado en la etapa inicial de la mezcla, de manera que el concreto alcance una fluidez adecuada para que pueda ser mezclado vía húmeda y sacado de planta sin ningún inconveniente, es necesaria una trabajabilidad de mínimo 3 (tres) pulgadas para poder sacar el concreto del trompo, mientras el VISCOCRETE 6 es dosificado en la etapa final, de manera que le de la fluidez necesaria para llegar a los requerimientos del concreto autocompactante. De esta manera se aprovecha al máximo las propiedades de cada aditivo.

Después de este proceso se llevan a cabo los ensayos correspondientes con los criterios de aceptación y rechazo.

Mezclado tipo #3:

Los pasos a seguir para la realización de la mezcla #3 son similares a la mezcla #1 y mezcla #2, desde el paso 1 hasta el paso 9.

10. La duración del mezclado es 10 minutos, con aproximadamente tres minutos de reposo.

4.7.2 Ensayos en estado fresco

Después de que se lleve a cabo el proceso de mezclado, se realizarán los ensayos correspondientes a los criterios de aceptación y rechazo para el concreto en estado fresco.

El primer ensayo a realizar es el Cono de Revenimiento, en donde se debe observar tanto el diámetro formado por la torta de la mezcla, como la presencia de segregación y sangrado. Si los resultados no son favorables, la mezcla es rechazada y hay que volver a la etapa de diseño de mezcla.

Ensayo Extensibilidad o Ensayo de Asentamiento

El Ensayo de Extensibilidad se utiliza para caracterizar la fluidez del hormigón.

Equipo Requerido

- Plancha de acero cuadrada y plana (tipo tabla DIN) de al menos 1m².

IMAGEN #24

Plancha de acero cuadrada y plana (tipo DIN) de 1m².



- Cono de Abrams con bridas en la parte inferior de manera que el operador pueda apretarlo contra la plancha con sus pies.

IMAGEN #25
Cono de Abrams.



- Cinta métrica.

Método de Ensayo

1. Comprobar que la plancha se encuentra sobre una superficie estable y horizontal mediante un nivel.
2. Humedecer la superficie de la plancha y quitar el exceso de agua, para evitar interferencia durante el ensayo.

IMAGEN #26

Colocación de la plancha en un sitio estable y horizontal.



3. Centrar el cono de Abrams sobre la plancha.
4. Tomar una muestra de concreto representativo.
5. Llenar el cono (sin los golpes normativos de compactación) hasta el tope y enrazar.

IMAGEN #27

Llenado del cono de Abrams sobre la plancha



6. Quitar cualquier exceso de concreto en el cono de Abrams y en la plancha.

IMAGEN #28

Limpieza de los excesos en cono y plancha.



7. Levantar el cono en vertical, utilizando las dos asas.

IMAGEN #29

Levantamiento vertical del cono



8. Medición del diámetro final, a lo largo de dos diámetros situados en ángulo recto entre sí.

IMAGEN #30

Medición de los diámetros finales.



9. Si los dos diámetros medidos difieren en más de 5 cm., el ensayo no es válido y se debe repetir.
10. El resultado final será el promedio de los dos valores

El segundo ensayo es la Caja en L, en donde se observa la fluidez de la mezcla y su paso a través de refuerzos metálicos. En caso de no superar la relación $H2/H1$ mayor a 0,8 la mezcla debe ser rechazada

Ensayo de la caja L

La caja L se utiliza para ensayar la fluidez del concreto en espacios cerrados y comprobar que la colocación del concreto no se verá puesta en peligro por atascos inaceptables.

Equipo Requerido

- En la FIGURA #2 del marco teórico se muestra un dibujo de la caja L.
- Tres (03) barras de refuerzo #4 ($\Phi 1/2''$).
- Cinta Métrica.

IMAGEN #31

Caja L



Procedimiento de Ensayo

1. Llenar la parte vertical de la caja con concreto (se requieren unos 10 litros) y quitar el exceso.
2. Levantar la compuerta, dejando fluir el concreto a la parte horizontal de la caja, a través de la armadura. El espacio entre barras es de 39 mm.
3. Cuando el concreto deje de fluir, se miden las alturas H1 y H2 (ver FIGURA #2).
4. Si el concreto no fluye rápidamente y hay concentración de agregados entre los refuerzos, existe con probabilidad un problema de atascado o segregación.

Ensayo de la caja en V.

Para realizar esta prueba se necesitan 10 litros de concreto. Las superficies internas de la caja en V (ver anexo nº 36, Imagen #39) deben de estar

humedecidas antes de correr la prueba. Es importante que el canal no reciba ningún tipo de vibración. Si la prueba se esta realizando con fines de probar la habilidad de pasado, el concreto se deja reposar por 1 minuto antes de abrir la puerta que se encuentra al fondo del canal. Si la prueba se esta realizando con fines de probar la resistencia a segregación, el concreto se deja reposar por 5 minutos. Una vez se abre la puerta, el concreto debe de caer en una cubeta que se coloque al bajo el canal y el tiempo que le toma al concreto autocompactante fluir fuera del canal debe ser registrado.

Se debe medir el contenido de aire (*ver anexo n° 1*) en la mezcla. Esto es logrado a través del Ensayo Gravimétrico, ensayo regido bajo la NORMA COVENIN 348:2004 “Concreto Fresco. Determinación del contenido de aire. Método de presión”. (*ver anexo n° 33*)

Otro ensayo que debe ser controlado es el Ensayo de Fraguado (*ver anexo n° 36, Imagen #53*), ensayo regido por la NORMA COVENIN 352:1979 “Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración”. (*ver anexo n° 32*)

IMAGEN #32

Ensayo de fraguado



4.7.3 Evaluación en estado endurecido

Los pasos a seguir en cada ensayo de cilindros para la segunda fase serán los siguientes:

Luego de conseguir la mezcla de concreto autocompactante óptima en estado fresco se procederá a su evaluación en estado endurecido, por lo tanto se realizarán todos los pasos mencionados anteriormente para quince (15) mezclas de prueba, lo cual llevarán a la validación de dicho diseño, para luego proceder de la siguiente manera:

1. Se traslada el concreto a la zona de toma de muestras, donde se realizaran las probetas de concreto, utilizando los moldes para cilindros (*ver anexo nº 36, Imagen #42*) según los pasos establecidos en la NORMA COVENIN 338:2002 “Concretos. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

IMAGEN #33

Elaboración de Cilindros



2. Se procederá a limpiar todos los equipos utilizados para garantizar su Óptima función.
3. Al día siguiente se procederá al marcado de cada uno de los cilindros Realizados y a su inmersión en la piscina de curado (*ver anexo nº 36, Imagen #45*) siguiendo los pasos establecidos en la NORMA COVENIN 338:2002 “Concretos. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

IMAGEN #34

Cilindro listo para su inmersión en la piscina de curado.



4. Dos de los cilindros serán ensayados a veinte y cuatro (24) horas, uno a siete (07) días y los últimos dos (02) a veinte y ocho (28) días, en un total de treinta (70) cilindros, siguiendo los pasos establecidos en la NORMA COVENIN 338:2002 “Concretos. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, cada cilindro será refrentado (*ver anexo n° 1*) antes de su ensayo. (*ver anexo n° 36, Imagen #38*).

IMAGEN #35
Cilindro ensayado.



5. Las mezclas de prueba serán evaluadas siguiendo las indicaciones de la NORMA COVENIN 1976:2003 “Evaluación de los métodos de resistencia del concreto”.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS

5.1 AGREGADOS

La caracterización y ensayos de los agregados utilizados para la elaboración del concreto autocompactante, se evaluaron según la norma COVENIN 277:2000 (3ra revisión), donde contempla los requisitos mínimos que deben cumplir los agregados finos y gruesos utilizados en el concreto.

5.1.1 Agregado fino

El agregado fino debe estar constituido por arena de río, de mina ó proveniente de reciclaje de piedras trituradas, el agregado fino utilizado para la elaboración del las mezclas de concreto autocompactante es una arena de origen silicia.

Granulometría

La granulometría de la arena utilizada (ver anexo nº 2) determinada según la norma COVENIN 255 es comparada con lo establecido en la norma COVENIN 277:2000 en la siguiente tabla:

TABLA #8

Comparación de los parámetros normativos y la arena utilizada de porcentaje pasante. (Fuente: COVENIN 277:2000)

Cedazos COVENIN	Porcentaje que pasa	
	Límites	Arena utilizada
9,51 mm; (3/8")	100	99,69
4,76 mm; (#4)	85 - 100	93,1
2,38 mm; (#8)	60 - 95	82,41
1,19 mm; (#16)	40 - 80	58,43
595 µm; (#30)	20 - 60	42,03
297 µm; (#50)	8 - 30	12,53
149 µm; (#100)	2 - 10	9,12
75 µm; (#200)	0 - 5	2,48

Se puede apreciar que todos los porcentajes pasantes se encuentran dentro de los límites normativos, exceptuando el tamiz 3/8" el cual se encuentre una pequeña fracción por debajo.

Cabe destacar que la arena utilizada no tiene más del 45% retenido entre dos cedazos consecutivos.

La norma COVENIN 277:2000 permite un porcentaje máximo en peso de muestra total de material más fino que el cedazo COVENIN #200 (75 µm) de 3%

para concretos sujetos a la abrasión y 5% para otros tipos de concreto, la arena utilizada contiene un porcentaje en peso de 2,48% (ver anexo nº 4).

Disgregabilidad a los sulfatos

Según la norma COVENIN 271:1978, el agregado fino sometido a cinco (05) ciclos de ensayos de disgregabilidad, debe tener una pérdida no mayor al 15% cuando se usa sulfato de magnesio, la arena utilizada después de los cinco (05) ciclos de ensayo obtuvo un valor de 11.60%. (ver anexo nº 3).

5.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso debe estar constituido por piedra triturada, canto rodado, escoria siderúrgica enfriada por aire o una combinación de ellos, o de otras fuentes, los agregados gruesos utilizados para el estudio fueron: piedra caliza $\frac{3}{4}$ ", silicia $\frac{3}{4}$ " y arrocillo silicio $\frac{3}{8}$ ".

Piedra $\frac{3}{4}$ " caliza

Granulometría

La granulometría de la piedra utilizada (ver anexo nº 7) determinada según la norma COVENIN 255 es comparada con lo establecido en la norma COVENIN 277:2000 en la siguiente tabla:

TABLA #9

Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la piedra ¾" caliza. (Fuente: COVENIN 277:2000)

Piedra picada ó grava COVENIN	38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")
Nº 1	100	100 a 90	90 a 50	45 a 15	20 a 0	7 a 0
Piedra Caliza ¾"	100	100	95,09	38,22	7	0

El tamaño máximo por norma es ¾" ya que retiene en ese tamiz el 5% del material.

La norma COVENIN 277:2000 permite un porcentaje máximo en peso de muestra total de material más fino que el cedazo COVENIN #200 (75 µm) de 1%, la piedra utilizada contiene un porcentaje en peso de 0,81% (ver anexo nº 8).

Disgregabilidad a los sulfatos

Según norma COVENIN 271:1978, el agregado grueso sometido a cinco (05) ciclos de ensayos de disgregabilidad, debe tener una pérdida no mayor al 12% cuando se usa sulfato de sodio, la piedra utilizada después de los cinco (05) ciclos de ensayo obtuvo un valor de 2,38%. (ver anexo nº 9).

Desgaste

El agregado grueso ensayado según la norma COVENIN 266 y 267, según sea el caso, debe presentar un desgaste menor o igual al 40%, la piedra ¾" de origen caliza utilizada presentó un desgaste del 24%. (ver anexo nº 10).

Piedra ¾" silicia

Granulometría

La granulometría de la piedra utilizada (ver anexo nº 13) determinada según la norma COVENIN 255 es comparada con lo establecido en la norma COVENIN 277:2000 en la siguiente tabla:

TABLA #10

Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la piedra ¾" silicia. (Fuente: COVENIN 277:2000)

Piedra picada ó grava COVENIN	38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")
Nº 1	100	100 a 90	90 a 50	45 a 15	20 a 0	7 a 0
Piedra Silicia 3/4"	100	100	97,4	67,61	35,74	7,47

El agregado grueso en estudio es una piedra ¾" pequeña ya que solo el 2,6% del material es retenido en el tamiz ¾".

La norma COVENIN 277:2000 permite un porcentaje máximo en peso de muestra total de material más fino que el cedazo COVENIN #200 (75 µm) de 1%, la piedra utilizada contiene un porcentaje en peso de 0,94% (ver anexo nº 14).

Disgregabilidad a los sulfatos

Según norma COVENIN 271:1978, el agregado grueso sometido a cinco (05) ciclos de ensayos de disgregabilidad, debe tener una pérdida no mayor al 12% cuando se usa sulfato de sodio, la piedra utilizada después de los cinco (05) ciclos de ensayo obtuvo un valor de 1,05%. (ver anexo nº 15).

Desgaste

El agregado grueso ensayado según la norma COVENIN 266 y 267, según sea el caso, debe presentar un desgaste menor o igual al 40%, la piedra ¾" de origen silicia utilizada presentó un desgaste del 22%. (ver anexo nº 16).

Arrocillo 3/8" silicia

Granulometría

La granulometría de la piedra utilizada (ver anexo nº 19) determinada según la norma COVENIN 255 es comparada con lo establecido en la norma COVENIN 277:2000 en la siguiente tabla:

TABLA #11

Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (02) cedazos de aberturas cuadradas y porcentaje pasante de la arrocillo 3/8" silicia. (Fuente: COVENIN 277:2000)

Piedra picada ó grava COVENIN	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	4,8 mm (#4)	2,38 mm (#8)	1,19 mm (#16)	595 µm (#30)
Nº 0	100	100 a	85 a	60 a	40 a	20 a	10 a	5 a

		80	50	25	15	5	0	0
ARROCILLO 3/8"	100	99,8	68,1	5,68	5,23	1,26	1,26	1,04

El proceso de producción del arrocillo 3/8" en la planta viene dado de la separación del material integral de agregado grueso y agregado fino, donde este material proviene del que recircula entre los tamices 3/8" y 1/4" que no pueden ser dispuestos para ninguno de los otros tipos de agregados, por esto la granulometría del arrocillo se encuentra entre los tamices 3/8" y 1/4".

La norma COVENIN 277:2000 permite un porcentaje máximo en peso de muestra total de material más fino que el cedazo COVENIN #200 (75 µm) de 1%, la piedra utilizada contiene un porcentaje en peso de 0,78% (ver anexo nº 20).

Disgregabilidad a los sulfatos

Según norma COVENIN 271:1978, el agregado grueso sometido a cinco (05) ciclos de ensayos de disgregabilidad, debe tener una pérdida no mayor al 12% cuando se usa sulfato de sodio, la piedra utilizada después de los cinco (05) ciclos de ensayo obtuvo un valor de 4.06%. (ver anexo nº 21).

Desgaste

El agregado grueso ensayado según la norma COVENIN 266 y 267, según sea el caso, debe presentar un desgaste menor o igual al 40%, la piedra 3/4" de origen silicia utilizada presentó un desgaste del 27%. (ver anexo nº 22).

5.2 CONCRETO FRESCO

El análisis de las mezclas de prueba será realizado mediante grupos, estos grupos están conformados por mezclas de prueba semejantes, en el anexo nº 34 se presentan todas las características y resultados de las mezclas de prueba.

5.2.1 GRUPO I

El grupo I esta formado por cinco mezclas con agregado grueso de origen calizo de ¾" y el aditivo Glenium 020, con un tiempo de mezclado de 10 minutos. En el subgrupo I.1 se encuentran las primeras tres mezclas de prueba y en el subgrupo I.2 las mezclas de prueba que presentaron total segregación.

SUBGRUPO I.1

TABLA I.1.A

Características de mezclado del Subgrupo I.1

CEMENTO (Kg)	500
TIPO DE AGREGADO GRUESO	Caliza ¾"
ADITIVO	Glenium 020
ALFA (α)	0,40

TABLA I.1.B

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo I.1

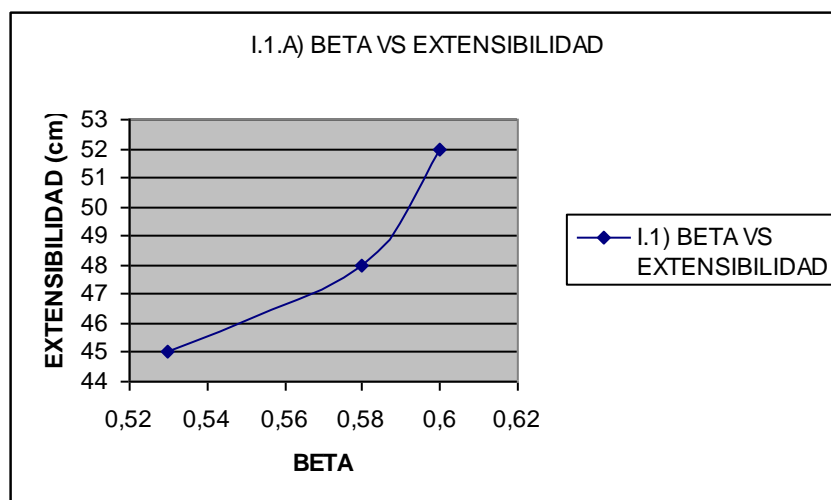
GRUPO Nº	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVO cc/kg cemento
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		GLENIUM 020
I,1	1	0,66	45	-	0	-	-	-	-	5
	2	0,61	48	-	0,70	-	-	-	4	5

	3	0,61	52	-	0,70	-	-	-	3,8	5
--	---	------	----	---	------	---	---	---	-----	---

Se puede observar que los resultados del ensayo de extensibilidad aumentan a medida que se incrementa el valor de β , este comportamiento es reflejado en la gráfica I.1.A, en este ensayo se presentaron aglomeramientos de agregado grueso que no permitieron el buen comportamiento de la mezcla.

GRAFICA I.1.A

Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del subgrupo I.1



El valor promedio del cono de revenimiento es 48,3cm., este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

El contenido de aire promedio es de 3,9%, dicho valor de contenido de aire esta dentro de los parámetros establecidos.

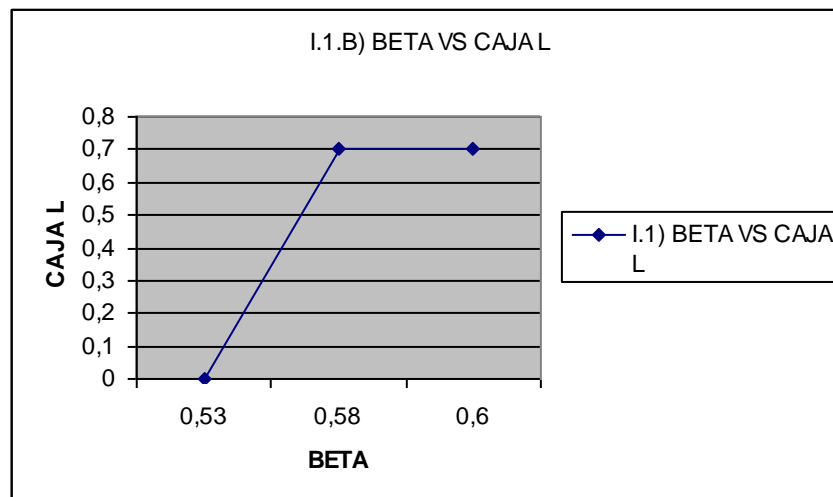
En el ensayo de la caja L se observó un comportamiento desfavorable, en el primer ensayo realizado, la mezcla no logró alcanzar la marca de los 200mm,

no fluyó adecuadamente y presentó trabas entre los aceros de refuerzo debido al alto contenido de agregado grueso.

En el resto de las pruebas del grupo I.1, al incrementar el beta el resultado de la Caja L no excedió a H2/H1 de 0,70, como indica la gráfica I.1.B. Este comportamiento es resultado de las características del agregado grueso utilizado, ya que éste se atora entre los aceros de refuerzo y forma un obstáculo que no permite el paso de la mezcla.

GRAFICA I.1.B

Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del subgrupo I.1



SUBGRUPO I.2

TABLA I.2.A

Características de mezclado del Subgrupo I.2

CEMENTO (Kg)	500
TIPO DE AGREGADO GRUESO	Caliza 3/4"

ADITIVO	Glenium 020
ALFA (α)	0,42

TABLA I.2.B

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo I.2

GRUPO Nº	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVO cc/kg cemento
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		GLENIUM 020
I,2	4	0,66	-	-	-	-	-	-	-	6
	5	0,66	-	-	-	-	-	-	-	5

El subgrupo I.2 presentó en ambas pruebas total segregación. Se aumentó el beta a 66%, lo que implica un incremento de 6% con respecto a las pruebas anteriores, donde se buscaba una mayor extensibilidad en el cono de revenimiento, en la prueba N° 4 se aumentó la dosificación en 1 cc/kg cemento en el aditivo y se evidenció una separación total entre la pasta y los agregados, seguidamente en la prueba N° 5 se procedió a dosificar el agua de manera controlada a medida que el proceso de mezclado era llevado a cabo, el resultado fue el mismo que en la prueba N° 4.

Cabe destacar que el aumento de 10 L en la dosificación del agua de mezclado no fue el causante de la segregación total, ya que en la mezcla de prueba N° 5 se dejaron sin mezclar 31,5 l/m³.

En consecuencia de lo observado y analizado en el deficiente comportamiento de la caja L, se llevó a cabo el cambio del origen del agregado grueso, esto se debió a que los agregados de superficie rugosa (origen caliza)

son desfavorables al mecanismo de lubricación, por lo tanto se procedió a la búsqueda de un agregado de superficie lisa como los agregados de origen silicio.

5.2.2 GRUPO II

El grupo II esta formado por tres mezclas con agregado grueso de origen silicio de $\frac{3}{4}$ " y el aditivo Glenium 020, con un tiempo de mezclado de 10 minutos.

TABLA II.A

Características de mezclado del grupo II

CEMENTO (Kg)	500
TIPO DE AGREGADO GRUESO	Silicia 3/4"
ADITIVO	Glenium 020
ALFA (α)	6 - 0,40 7 - 0,40 8 - 0,43

TABLA II.B

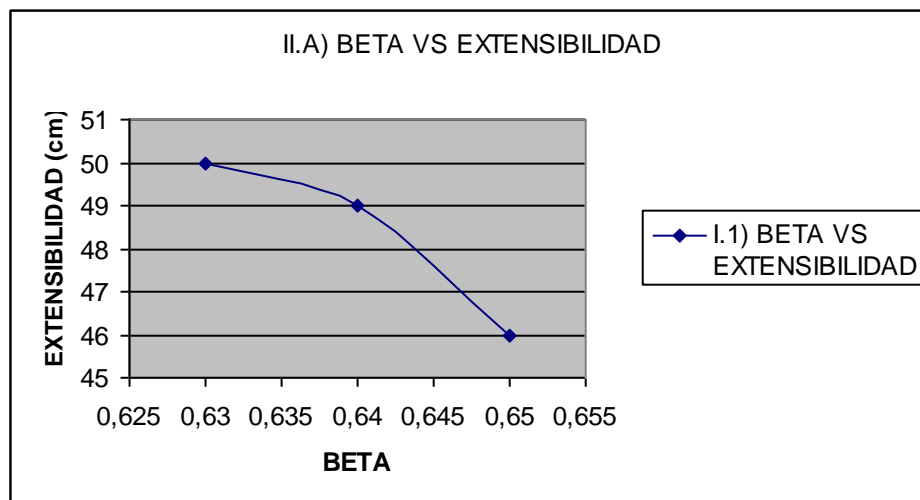
Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo II

GRUPO Nº	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVO cc/kg cemento
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		GLENIUM 020
II	6	0,63	50	-	0,7	-	-	-	6,6	5
	7	0,65	46	-	0,67	-	-	-	12	5
	8	0,64	49	-	0,67	-	-	-	10	5

Se puede observar que los resultados del ensayo de extensibilidad disminuyen a medida que se incrementa el valor de β como se indica en el gráfico II.A.

GRAFICA II.A

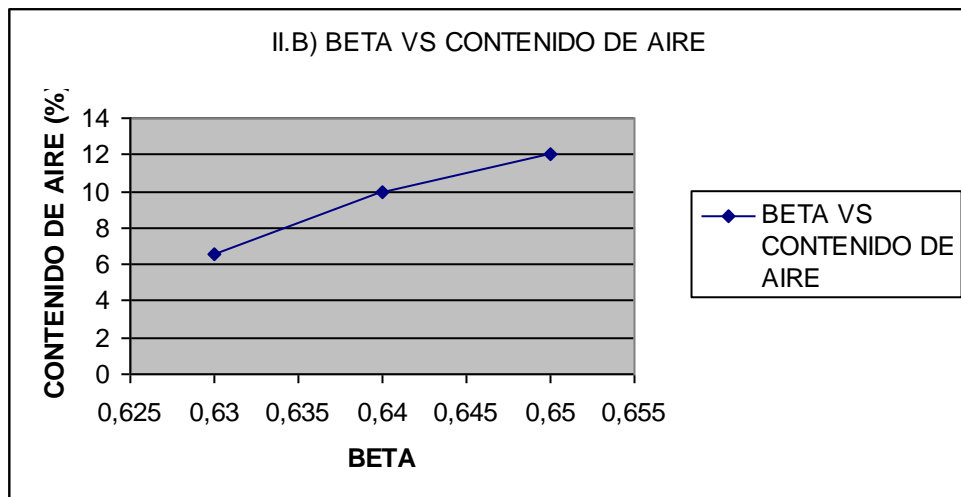
Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del grupo II



Esta disminución en el diámetro del cono de revenimiento viene dada debido a la alta incorporación de aire que presenta la mezcla a medida que se aumenta el Beta, expresado en la gráfica II.B.

GRAFICA II.B

Representación gráfica del contenido de aire en función del Beta (β) del grupo II



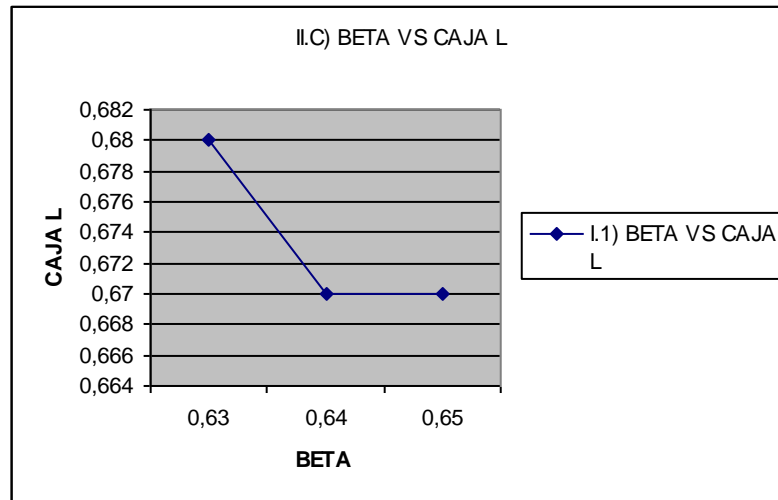
El valor promedio del cono de revenimiento es 48.3cm., este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

El contenido de aire promedio es de 9,53%, dicho valor de contenido de aire se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

Por efecto de las altas incorporaciones de aire en la mezcla la relación H2/H1 disminuía a medida que se aumentaba el Beta, como se indica en la gráfica II.C. De igual manera, el paso de la mezcla a través de las barras de refuerzo en el ensayo de la Caja L se vio obstaculizada por retenciones de agregado grueso en las mismas.

GRAFICA II.C

Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del grupo II



Es importante destacar la pérdida de fluidez en pocos minutos que presentaron las mezclas hasta éste momento, esto se debió a la cantidad de cemento utilizado (500 Kg/m^3), la pérdida de asentamiento se debe al alto contenido de cemento, por lo tanto se procedió a reducir la cantidad de cemento en 170 kg/m^3 .

La mezcla número N° 22 fue realizada con Glenium 020, con las especificaciones que aparecen en el diseño y desarrollo. La dosificación utilizada es de 8 cc/kg cemento, ya que fue la máxima dosificación recomendada a utilizar por el proveedor. Se consiguió la extensibilidad necesaria a través del aditivo dando como resultado un cono de revenimiento de 62 cm. , pero la incorporación de aire fue del 10% .

Las mezclas realizadas con el aditivo Glenium 020 arrojaron las siguientes incorporaciones de aire:

TABLA II.C

Valores de contenido de aire en el grupo II realizadas con el aditivo Glenium 020

Mezcla de prueba	Dosificación	Contenido de Aire (%)
6	5 cc/kg cemento	6.6

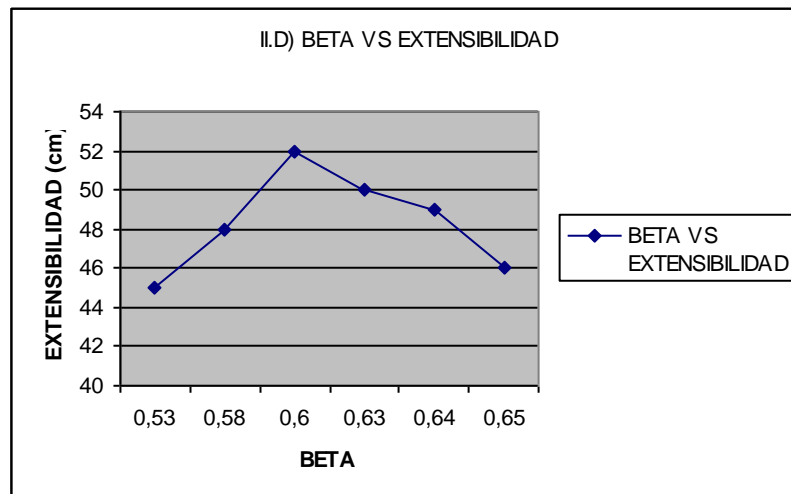
7	5 cc/kg cemento	12
8	5 cc/kg cemento	10
22	8 cc/kg cemento	10

5.2.3 Comparaciones Grupo I y Grupo II

En la curva mostrada se puede observar el rango de trabajo del valor de Beta para los grupos I y II, donde el rango de betas entre 60% a 63% arroja los mejores resultados. El valor exacto de Beta dependerá de la relación agua/cemento utilizada y de las otras variables en estudio.

GRAFICA II.D

Representación gráfica de la Extensibilidad en función del Beta (β) del grupo I y grupo II

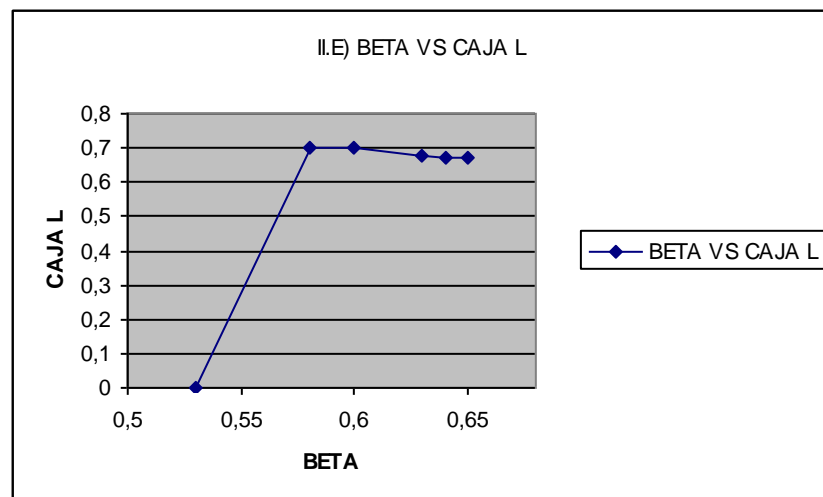


En la gráfica II.E se indica, que tanto en el grupo I como el grupo II se vieron afectados por el tamaño máximo del agregado grueso de ambos orígenes $\frac{3}{4}$ ", donde obstaculizaba el paso de la mezcla a través de los refuerzos en la Caja

L. En el grupo II los valores de H2/H1 son menores debido a la alta incorporación de aire mostradas anteriormente.

GRAFICA II.E

Representación gráfica de la Caja L en función del Beta (β) del grupo II



5.2.4 GRUPO III

TABLA III.A

Características de mezclado del grupo III

CEMENTO (Kg)	330
TIPO DE AGREGADO GRUESO	Silicia 3/4"
ADITIVO	Sinergia
ALFA (α)	9 - 0,70 10 - 0,66 11 - 0,65

El grupo III esta formado por las mezclas N° 9, N° 10 y N° 11. En estas mezclas se incorporó el uso del polvillo de electrofiltro como complemento de ultrafinos para lograr el contenido de 500 kg/m³. El aditivo utilizado fue la sinergia entre WRDA – 79 y el VISCOCRETE – 6 en sustitución del Glenium 020.

TABLA III.B

Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo III

GRUPO N°	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVOS cc/kg cemento	
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		WRDA- 79	VISCOCRETE 6
III	9	0,64	48	-	0,65	-	-	-	7	5	9
	10	0,64	65	50	0,80	0,68	2	4	7	6	10
	11	0,64	65	50	0,81	0,70	2	4	7	6	11

El principal objetivo del Grupo III fue estudiar la factibilidad de uso, del polvillo electrofiltro como adición en la mezcla para suplantar la cantidad de cemento restado y así lograr el valor de los 500 Kg/m³ de ultrafinos necesario para lograr la mezcla del concreto autocompactante.

En el grupo III, al ser el primero en el cual se utilizó la Sinergia entre WRDA – 79 y VISCOCRETE – 6, se varió la dosificación en cada una de las mezclas para encontrar la más óptima.

En la mezcla de prueba N° 9 utilizando la dosificación de 9 cc/kg de cemento de VISCOCRETE – 6 y 5 cc/kg cemento de WRDA-79 no se logró obtener los resultados requeridos como se observa en la tabla III.B.

Para las dosificaciones de la prueba de mezcla N° 10 y la prueba de mezcla N° 11 se obtuvieron resultados favorables en los diez primeros minutos de mezclado en cuanto a extensibilidad y Caja L.

El contenido de aire en las pruebas de mezcla N° 10 y N° 11 es superior al establecido en los parámetros.

Se realizó la prueba del Embudo en V en consecuencia de los buenos resultados en los otros ensayos. El resultado de este ensayo no satisface los rangos establecidos de 4-12 segundos, indicando un exceso de fluidez en la mezcla.

Para este grupo se aplicó el mezclado tipo #2. Los resultados arrojados al finalizar el proceso de mezclado están reflejados en la tabla III.B, donde ninguno de ellos está dentro de los parámetros. El resultado del embudo en V es favorable, presentando fluidez continua y cuyo tiempo está dentro del rango de 4-12 seg.

5.2.5 GRUPO IV

TABLA IV.A

Características de mezclado del grupo IV

CEMENTO (Kg)	330
TIPO DE AGREGADO GRUESO	Silicia 3/4"
ADITIVO	Sinergia
ALFA (α)	12 - 0,85 13 - 0,73 14 - 0,75

	15 - 0,70
	17 - 0,89

El grupo IV está formado por las mezclas N° 12, N° 13, N° 14, N° 15 y N° 17. En estas mezclas se incorporó el uso del polvillo de piedra en dosificaciones mayores a 300 kg/m³. El aditivo utilizado fue la sinergia entre WRDA – 79 y el VISCOCRETE – 6.

TABLA IV.B

Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo IV

GRUPO N°	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVOS cc/kg cemento	
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		WRDA- 79	VISCOCRETE 6
IV	12	0,64	48	-	-	-	-	-	-	6	11
	13	0,64	50	-	-	-	-	-	-	6	11
	14	0,64	51	-	-	-	-	-	-	6	11
	15	0,64	60	-	-	-	-	-	3,7	6	11,5
	17	0,64	61	-	0,8	-	-	-	5,8	6	11

El principal objetivo del Grupo IV fue estudiar la factibilidad de uso del polvillo de piedra como adición y su dosificación adecuada en la mezcla y así lograr el valor de los 500 Kg/m³ de ultrafinos necesario para lograr la mezcla del concreto autocompactante.

La dosificación utilizada para las mezclas de prueba fue la misma 11 cc/Kg de cemento para el VISCOCRETE 6 y 6 cc/kg de cemento para el WRDA - 79, exceptuando la última mezcla, ya que se utilizaron 11,5 cc/Kg de cemento.

En la mezcla de prueba N° 12 se puede observar que el diámetro del cono de revenimiento tuvo un valor de 48 cm. (ver TABLA IV.B), lo cual se encuentra fuera de los parámetros establecidos, la razón de este resultado es la elevada dosificación de polvillo de piedra (576 kg/m³), donde se agregaron 67 l/m³ de agua sin observar mejoras en el comportamiento, para las siguientes mezclas de

prueba se optó por reducir la cantidad de polvillo de piedra, ya que se pudo evidenciar que dicho polvillo absorbe el agua (ver GRAFICA IV.B).

Al analizar en conjunto las mezclas N° 13, N° 14 y N° 15, es importante destacar que utilizando las mismas cantidades de polvillo de piedra, el comportamiento del cono de revenimiento mejoró pero no cumple con los parámetros establecidos. Las cantidades de agua agregada están entre 33 y 44 litros por metro cúbico.

Las dosificaciones de polvillo de piedra deben ser inferiores a 320 kg/m^3 , así poder controlar las cantidades de agua y no tener que agregar durante el proceso de mezclado.

En las mezclas de prueba N° 12, N° 13 y N° 14 no fueron realizados los otros ensayos, debido al deficiente comportamiento en el cono de revenimiento y a la gran cantidad de agua agregada durante el mezclado. Los Alfas se encuentran sobre 0.75, donde estos valores nos pueden afectar de manera significativa en las resistencias mecánicas y las características del concreto endurecido

la mezcla N° 15 obtuvo un valor de cono de revenimiento de 60 cm., este valor se encuentra dentro de los parámetros establecidos, por lo tanto fue realizado el ensayo de la caja L, obteniendo un valor de 0.70, dicho valor se encuentra fuera de los valores establecidos, se pudo evidenciar trabas del agregado grueso al momento de pasar los aceros de refuerzo y el amontonamiento en la torta del cono de revenimiento.

Debido al mal desempeño mostrado por el agregado grueso $\frac{3}{4}$ " tanto de origen calizo como silicio, se decidió cambiar el agregado a una piedra de origen silicio $\frac{3}{8}$ ".

La mezcla N° 17 aún teniendo agregado grueso de tamaño máximo 3/8" presentó una incorporación de agua de 31,5 litros. Esta mezcla posee 320 kg/m³ de polvillo de piedra, lo que ratifica la necesidad de disminuir las cantidades del mismo de manera de poder controlar ésta variable.

En el ensayo de la Caja L para la mezcla N° 17 se observó una mejora en el comportamiento, ya que no se presentaron trabas entre las barras de refuerzo.

5.2.6 GRUPO V

El grupo V esta formado por las mezclas N° 18, N° 19 y N° 20 con agregado grueso de origen silicio de 3/8" y la sinergia entre los aditivos VISCOCRETE – 6 y WRDA - 79, presenta mezclado tipo #2.

TABLA V.1

Características del mezclado y resultados de los ensayos del grupo V

GRUPO N°	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVOS cc/kg cemento	
			10	40	10	40	10	40		WRDA- 79	VISCOCRETE 6
			MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN			
V	18	0,61	-	60	-	0,90	-	-	1,4	6	11
	19	0,61	-	48	-	0,65	-	-	-	6	12
	20	0,60	-	50	-	0,65	-	-	-	4	12

El valor promedio del cono de revenimiento es 53 cm., este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

En el ensayo de la Caja en L, la relación H2/H1 promedio es de 0.67, estando fuera de los parámetros establecidos.

La dosificación del polvillo de piedra en estas mezclas se encuentra sobre los 170 kg/m³. El aspecto de la mezcla era de una pasta muy densa, donde se observa en la torta del cono de revenimiento la marca dejada por el cono de

abrams cuando es retirado (VER FOTO V.1). Los valores de los ensayos se encuentran fuera de parámetros, debido a este fenómeno que se observa en la mezcla.

IMAGEN V.1

Marca dejada por el cono de abrams cuando fue retirado.



La dosificación de VISCOCRETE 6 no debe exceder los 11 cc/kg cemento, ya que con 12 cc / kg cemento utilizados en la mezcla N° 19 y N ° 20 se observa una pérdida en las propiedades buscadas en el concreto, como se observa en la TABLA V.1 con dosificaciones muy similares en los diseños.

5.2.7 GRUPO VI

El grupo VI está formado por las mezclas N° 21, N° 23, N° 28 y N° 29, en estas mezclas no se utilizó el polvillo de piedra, ya que se quiso analizar la mezcla con el agregado grueso 3/8" sin la adición del polvillo de piedra, el aditivo utilizado fue la sinergia entre WRDA – 79 y el VISCOCRETE – 6. Este grupo está dividido en dos subgrupos, subgrupo VI.1 y el subgrupo VI.2.

SUBGRUPO VI.1

Este subgrupo está configurado por las mezclas N° 21 y N° 23, los parámetros de diseño y resultados obtenidos de dichas mezclas están representados en la TABLA VI.1.A..

TABLA VI.1.A

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VI.1

GRUPO N°	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVOS cc/kg cemento	
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		WRDA- 79	VISCOCRETE 6
VI.1	21	0,64	-	62	-	0,75	-	-	-	5	10
	23	0,64	-	67	-	0,76	-	3	-	6,5	10

En el procedimiento del mezclado de este subgrupo se consideró una opción crucial para el logro del objetivo planteado, esta opción fue la de introducir el aditivo VISCOCRETE – 6 al final de la mezcla, donde se obtuvo un comportamiento dentro de los parámetros establecidos en el cono de revenimiento con un valor promedio de 65 cm.

Los valores alcanzados en el ensayo de la caja L se encuentran fuera de los parámetros, se obtuvo un valor promedio de 0,76, esto se debe a la falta de finos en la mezcla.

SUBGRUPO VI.2

El subgrupo VI.2 está configurado por las mezclas N° 28 y N° 29, los parámetros de diseño y resultados obtenidos de dichas mezclas están representados en la TABLA VI.2.A..

TABLA VI.2.A

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VI.2

GRUPO N°	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVOS cc/kg cemento	
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		WRDA- 79	VISCOCRETE 6
VI.2	28	0,64	-	50	-	0,68	-	-	5	5	9
	29	0,65	-	45	-	0,65	-	3	7	5	9

5.2.8 GRUPO VII

El grupo VIII esta formado por dos mezclas con agregado grueso de origen silicio de 3/8" y el aditivo Glenium 3000, con un tiempo de mezclado de 40 minutos, los parámetros de diseño y resultados obtenidos de dichas mezclas están representados en la TABLA VIII.1.

TABLA VII.1

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VII

GRUPO Nº	MEZCLA	BETA (β)	CONO (cm)		CAJA L (H2/H1)		EMBUDO V (seg)		AIRE (%)	ADITIVO cc/kg cemento
			10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN	10 MIN	40 MIN		GLENIUM 3000
VII	25	0,60	-	52	-	0,72	-	-	12	11
	32	0,61	-	48	-	0,70	-	-	6,4	12

El valor promedio del cono de revenimiento es 50 cm., este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

El contenido de aire promedio es de 9,2 %, dicho valor de contenido de aire se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

El valor promedio del ensayo de la caja L es de 0,71, este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

5.2.9 GRUPO VIII

El grupo VIII está formado por las mezclas N° 26 y N° 27, en estas mezclas no se utilizó el polvillo de piedra, el aditivo utilizado fue el POLYHEED 728 N, los parámetros de diseño y resultados se muestran en la TABLA VIII.1.

TABLA VIII.1

Características del mezclado y resultados de los ensayos del subgrupo VIII

GRUPO	MEZCLA	BETA	CONO (cm)	CAJA L (H2/H1)	EMBUDO V (seg)	AIRE	ADITIVO cc/kg cemento
-------	--------	------	--------------	-------------------	----------------------	------	--------------------------

IX	24	0,66	-	54	-	0,72	-	-	12	6,5	10
	30	0,61	-	57	-	0,76	-	-	5	6	10
	31	0,61	-	63	-	0,9	-	4	4	6	10

Se observó que a medida que se aumentaba la dosificación de polvillo de piedra de 46 a 100 kg/m³ los resultados en el cono de revenimiento y la Caja en “L” presentaron mejoras en su comportamiento.

Adicionalmente, para la mezcla N° 31 se aumentó la dosificación de cemento en 15 kg/m³ de manera de aumentar el contenido de ultrafinos en la mezcla.

Los resultados de la mezcla N° 31 cumplieron con todos los parámetros establecidos, por lo que se procedió a realizar la validación de los resultados obtenidos.

5.3 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

5.3.1 Evaluación de los ensayos en estado fresco.

Luego de obtener el diseño de mezcla del concreto autocompactante, se procedió a realizar un conjunto de quince (15) mezclas para validar dicho diseño, se controlaron y evaluaron las variables de la misma manera en que se han realizado todas las mezclas, a continuación se presentan los resultados obtenidos

de los ensayos realizados al concreto fresco y los ensayos a compresión de cilindros.

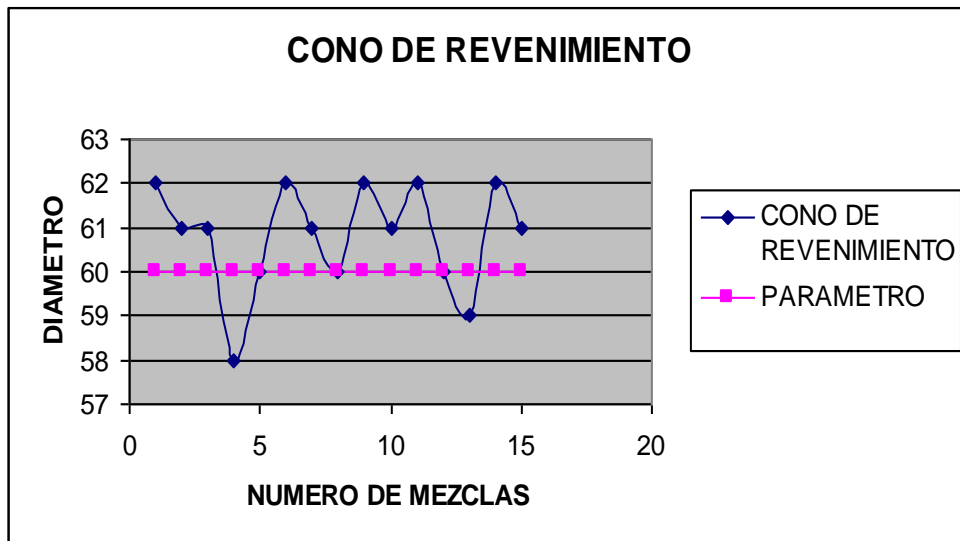
TABLA #12

Validación del ensayo del cono de extensibilidad

Pruebas	Diámetro (cm)
1	62
2	61
3	61
4	58
5	60
6	62
7	61
8	60
9	62
10	61
11	62
12	60
13	59
14	62
15	61
Promedio	60,8

GRAFICO #3

Validación del ensayo del cono de extensibilidad



Los resultados de este ensayo son favorables. El promedio de los diámetros de los conos de revenimiento es de 60,8 cm., por encima del parámetro establecido de 60 cm. En la gráfica se observa que solo 2 valores se encuentran por debajo del parámetro, esto equivale a un 13,33%, donde la diferencia mayor entre estos dos ensayos es de 2 cm. con respecto a éste.

TABLA #13

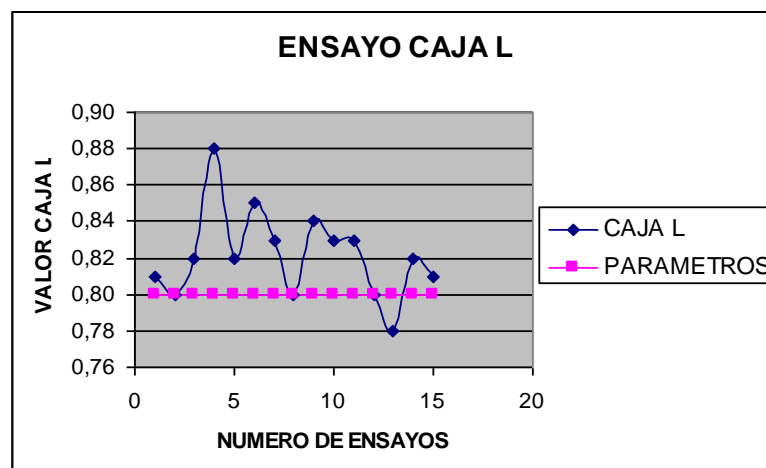
Validación del ensayo de la caja L

Pruebas	H1/H2
1	0,81
2	0,80

3	0,82
4	0,88
5	0,82
6	0,85
7	0,83
8	0,80
9	0,84
10	0,83
11	0,83
12	0,80
13	0,78
14	0,82
15	0,81
Promedio	0,82

GRAFICO #4

Validación del ensayo de la caja L



Los resultados del ensayo de Caja L, expresados H2/H1, son satisfactorios. El promedio de H2/H1 se encuentra en 0,82, ubicado por encima del parámetro establecido en H2/H1 0,8. Como se observa en la gráfica, solo un valor se encuentra por debajo de éste, lo que equivale a un 6,66% de la muestra.

TABLA #14

Validación de aire ocluido, tiempo de fraguado y embudo en V

% AIRE OCLUIDO				
Contenido de aire	I	II	III	Promedio
% aire	3,4	3,2	3,1	3,2

TIEMPO DE FRAGUADO				
Fraguado	I	II	III	Promedio
Inicial	6,36	6,5	6,24	6,37
Final	8,47	8,25	8,30	8,34

EMBUDO EN V				
Pruebas	I	II	III	Promedio
Tiempo (seg)	6	5	5	5,3

El promedio del contenido de aire en la mezcla está ubicado en 3,2%, resultado aceptable por debajo del parámetro de 4%

El tiempo de fraguado se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la empresa, el cual es de no más de 10 horas en el fraguado inicial (ver anexos nº 20, 21 y 22).

Los resultados del ensayo del embudo en V están dentro del rango establecido de 4 a 12 segundos, por lo cual son favorables.

5.3.2 Resultados de Cilindros a compresión.

Para el cálculo estructural se toma como referencia resistente del concreto, la correspondiente a los ensayos de compresión que hacen en probetas normalizadas del material. A continuación se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a 24 horas, 7 días y 28 días.

Para realizar los análisis estadísticos se tomaron treinta (30) muestras representativas, entre las cuales se les aplicaron fórmulas que se mostrarán a continuación:

$$\bar{X} = \left[\sum_1^n X_i \right] / n \text{ (Promedio)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \text{ (Desviación Estándar)}$$

$$d = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}} \text{ (Rango)}$$

$$v = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100(\%) \text{ (Coeficiente de Variación)}$$

$$R_{\text{cálculo}} + S \cdot Z \text{ (Resistencia Requerida)}$$

El ensayo a compresión de 24 horas fue realizado por dos motivos, el primero, para poder realizar la gráfica de la ganancia de resistencia, y el segundo, como un requerimiento de la Empresa para vaciados tipo túnel que necesitan resistencias mínimas a 24 horas de 40 kg/cm².

TABLA #15

Resistencias a 24 horas

Nº de mezcla	F'c	R 24horas		Rango	R promedio	%R adquirido 24 horas
1	210	68	58	10	63	30,00%
2	210	83	88	5	85,5	40,71%
3	210	68	70	2	69	32,86%
4	210	76	67	9	71,5	34,05%
5	210	72	71	1	71,5	34,05%
6	210	70	76	6	73	34,76%
7	210	75	76	1	75,5	35,95%
8	210	77	71	6	74	35,24%
9	210	67	74	7	70,5	33,57%
10	210	76	77	1	76,5	36,43%
11	210	78	76	2	77	36,67%
12	210	72	79	7	75,5	35,95%
13	210	65	73	8	69	32,86%

14	210	72	74	2	73	34,76%
15	210	75	72	3	73,5	35,00%
				Res promedio T	73,2	34,86%

Resistencia F'c	210
Rango	30
Resistencia promedio	73,2
Desviación estándar	5,61
Coef de variación	7,66%

La resistencia que se especifica habitualmente, es la de 28 días de edad; sin embargo pueden ser especificadas resistencias a otras edades, o puede ser conveniente conocerlas aunque no sean de especificación.

Sólo se realizaron 10 probetas para ensayos a compresión a 7 días, debido a que estos valores nos darán una referencia de la ganancia de resistencia del concreto autocompactante.

TABLA #16
Resistencias a 7 días

Nº de mezcla	F'c	R 7 días	%R adquirido 24 horas
1	210	175	83,33%
2	210	217	103,33%
3	210	206	98,10%
4	210	209	99,52%
5	210	181	86,19%
6	210	206	98,10%
7	210	216	102,86%
8	210	220	104,76%
9	210	155	73,81%
10	210	210	100,00%
		Res promedio T	199,5
			95,00%

Resistencia F'c	210
------------------------	-----

Rango	65
Resistencia promedio	199,5
Desviacion estandar	21,62
Coef de variación	10,84%

Siguiendo la aplicación de los principios estadísticos al control de calidad del concreto establecidos en la norma COVENIN 1976:2003, se procedió a la evaluación de los resultados a compresión de las probetas a 28 días, lo cual se presentan a continuación.

TABLA #17

Resistencias a 28 días

Nº de mezcla	F'c	R 28 días		Rango	R promedio	%R adquirido 28 días
1	210	201	243	42	222	105,71%
2	210	290	283	7	286,5	136,43%
3	210	268	226	42	247	117,62%
4	210	227	254	27	240,5	114,52%
5	210	223	242	19	232,5	110,71%
6	210	215	272	57	243,5	115,95%
7	210	258	275	17	266,5	126,90%
8	210	272	283	11	277,5	132,14%
9	210	211	245	34	228	108,57%
10	210	291	274	17	282,5	134,52%
11	210	259	258	1	258,5	123,10%
12	210	223	242	19	232,5	110,71%
13	210	214	264	50	239	113,81%
14	210	218	248	30	233	110,95%
15	210	265	274	9	269,5	128,33%
Res promedio T					250,6	119,33%

Resistencia F'c	210	
Rango	90	
Resistencia requerida	244	
Resistencia promedio	250,60	
Desviacion estandar	25,86	
Coef de variación	10,32	
Fracción Defectuosa Real	3,33%	
Fracción Defectuosa Teórica	z	-1,353
	%	8,85%

GRAFICO #5

Media móvil a 28 días de los cilindros obtenidos para la validación de resultados

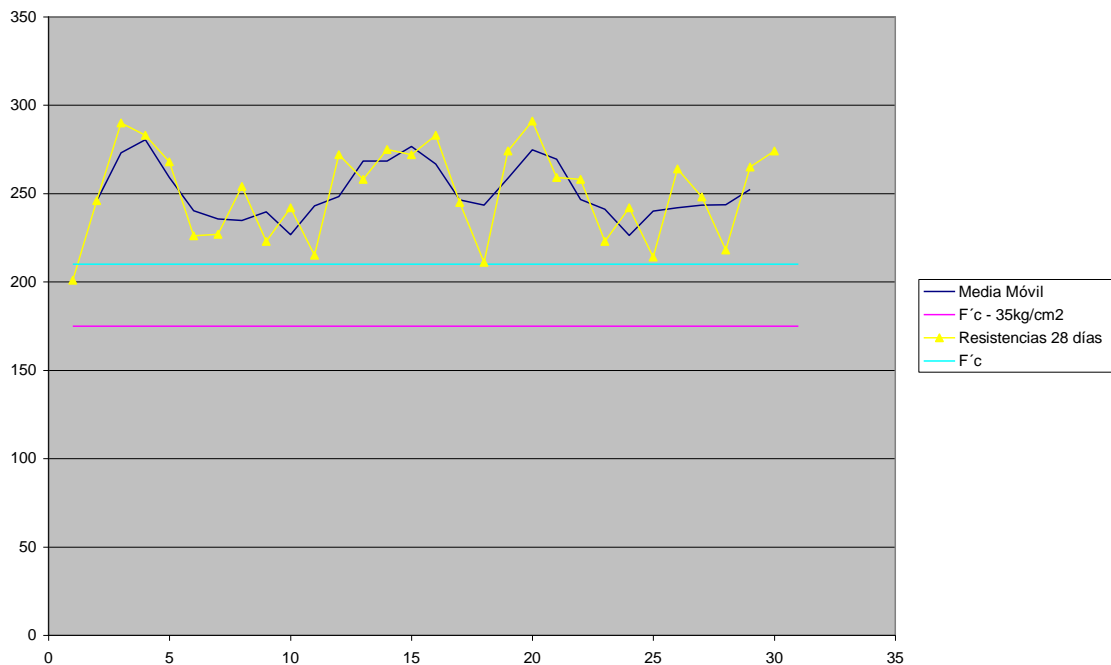
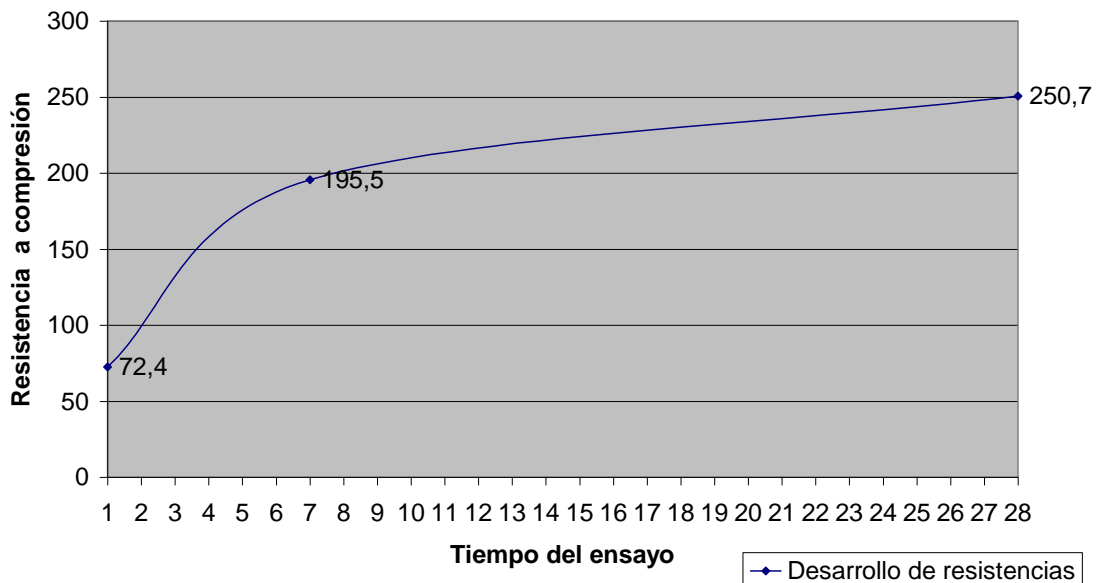


GRAFICO #6

Curva de ganancia de resistencia de los cilindros obtenidos para la validación de resultados

Curva de Ganancia de Resistencia



La desviación estándar del diseño de mezcla del concreto autocompactante esta en 25 kg/cm², donde la norma COVENIN 1976-2003 lo ubica como un concreto con controles muy estrictos en su proceso de fabricación.

La fracción defectuosa real se ubica en 3,33%, por debajo del 9% de fracción defectuosa de diseño. La fracción defectuosa teórica se ubica en 8,85% también por debajo del 9% requerido.

La resistencia promedio obtenida fue de 250,6 Kg/cm², que es mayor a la resistencia promedio requerida, la cual se ubica en 244 kg/cm².

Ningún valor de resistencia se encuentra por debajo de $F'c - 35$ kg/cm², cumpliendo con este criterio de aceptación.

La media móvil de las resistencias de los ensayos se encuentra por encima de $F'c$, cumpliendo con este criterio de aceptación.

Los resultados de los cilindros a compresión a 24 horas, obtuvieron un valor promedio de 73 kg/cm² lo cual se encuentra por encima de los requerimientos establecidos por la empresa.

5.4 ANALISIS DE COSTO.

Se realizó una comparación entre el diseño del concreto autocompactante de resistencia 210 kg/cm² y un diseño de concreto convencional de resistencia 210 kg/cm² de asentamiento 5" no bombeable (ver tabla #18). Los costos de la materia prima a utilizar para el cálculo incluyen el precio del material y el flete hasta la Planta de La Bandera donde se realizó este estudio (ver tabla #19).

TABLA #18

Comparación de diseños de mezclas para el análisis económico.

Diseño (m ³)	Cemento (Kg)	Arena (Kg)	Grava (Kg)	Polvillo (Kg)	Agua (L)	WRDA-79 (L)	VISCOCRETE 6 (L)
210 N 5"	270	1066	834	-	192	2,16	-
210 CAC	350	990	665	100	215	2,1	3,5

TABLA #19

Costos de materia prima.

MATERIAL	UNIDAD	COSTO
Cemento	Bs/kg	215,037
Arena	Bs/kg	26,875
Piedra	Bs/kg	24,647
Polvillo de piedra	Bs/kg	32,68
Agua	Bs/l	2
WRDA-79	Bs/l	1100
Viscocrete 6	Bs/l	7000

Luego se procedió al cálculo del costo de los concretos tomando en cuenta los precios de materia prima y los costos de operación los cuales se estimaron con un costo igual al costo de materia prima, donde se observó que el precio del concreto autocompactante es un 35.2% mayor que el concreto convencional, esto es debido principalmente a que este último contiene una dosificación menor de cemento en un 29.6%. (ver tabla #20 y #21)

TABLA #20

Costos del Concreto Convencional.

MATERIAL	UNIDAD	DISEÑO	BOLIVARES
Cemento	Kg	270	58.059,99
Arena	Kg	1066	28.648,75
Piedra	Kg	834	20.555,60
Agua	L	192	384,00
WRDA-79	L	2,16	2.376,00

COSTOS DE MATERIA PRIMA 110.024,34

COSTOS OPERACIONALES 110.024,34

COSTO DE VENTA 220.048,68

TABLA #21

Costos del Concreto Autocompactante.

MATERIAL	UNIDAD	DISEÑO	BOLIVARES
Cemento	Kg	350	75.262,95
Arena	Kg	990	26.606,25
Piedra	Kg	665	16.390,26
Polvillo de piedra	Kg	100	3.268,13
Agua	L	215	430,00
WRDA-79	L	2,1	2.310,00
Viscocrete 6	L	3,5	24.500,00

COSTOS DE MATERIA PRIMA 148.767,59

COSTOS OPERACIONALES 148.767,59

COSTO DE VENTA 297.535,18

Posteriormente se realizó un estudio comparativo para observar el efecto del concreto autocompactante en los costos de colocación en la obra ubicada en la calle Suapure, Urb. Colinas de Bello Monte, Municipio Baruta, contra los costos de colocación de un concreto convencional de resistencia 210 Kg/cm² no bombeable de asentamiento 5" para tres elementos estructurales de la misma, tomando en cuenta el ahorro en el uso de vibradores y cuadrilla de vibración, pero tomando la misma eficiencia para ambos casos. Estos datos fueron proporcionados por la empresa Ingeniería VECON, C.A. (ver anexo #36)

Se observa que los costos totales varían según el tipo de estructura a vaciar. En todos los casos los costos son mayores para el concreto autocompactante, en un rango de 10000 a 27000 Bs. por metro cuadrado de construcción, esto representa entre un 7.4% a 17.3% más costoso.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los agregados caracterizados en el estudio para la elaboración del concreto autocompactante cumplen los requisitos mínimos establecidos por la norma COVENIN 277:2000 (3ra revisión) “Concreto. Agregados. Requisitos”.
- La mezcla número treinta y uno (31) (para 1 m³: cemento: 350 Kg, arena: 990 Kg, arrocillo: 665 Kg, agua: 215 l, polvillo de piedra: 100 Kg, Viscocrete 6: 3.5 l y WRDA-79: 2.1 l) cumple con todos los parámetros de estudio para las características reológicas. Los valores establecidos para la caja L y cono de revenimiento fueron cumplidos durante las quince (15) mezclas de validación. Los resultados de los ensayos de aire ocluido, tiempo de fraguado y embudo en V cumplen los requisitos necesarios para la mezcla.
- El agregado grueso para este diseño de mezcla del concreto autocompactante es el de tamaño máximo 3/8” de origen silicio, ya que tamaños mayores presentan trabas entre los aceros de refuerzo y pérdida de fluidez.
- El contenido de finos pasantes del tamiz #50 debe estar en un rango de 480 -510 kg/m³. Contenidos mayores no permiten obtener la fluidez adecuada debido a la formación de una pasta muy densa. Contenidos menores no logran alcanzar los parámetros establecidos para los ensayos de fluidez para un concreto autocompactante.
- Basados en el estudio realizado, las cantidades de polvillo de piedra incorporado a la mezcla deben estar en un rango entre 100 – 170 kg/m³. Dosificaciones mayores conducen a una pasta con una consistencia muy densa, mientras que en dosificaciones menores no se alcanzan los resultados requeridos.
- El polvillo electrofiltro fue rechazado para su uso en el diseño de mezcla del concreto autocompactante por los resultados obtenidos en estado endurecido, donde se observó una consistencia desfavorable con tendencia al desmoronamiento.

- Para la elaboración del concreto autocompactante es indispensable el uso de la sinergia entre dos aditivos, VISCOCRETE 6 y WRDA-79. En esta sinergia se aprovechan al máximo las propiedades de ambos aditivos, donde el WRDA 79 permite alcanzar el asentamiento requerido para el mezclado Vía Humedad y el VISCOCRETE 6 dosificado en la etapa final otorga a la mezcla las propiedades reológicas necesarias para el concreto autocompactante.
- El tiempo de mezclado de 44 minutos bajo la metodología de Mezclado tipo II permite observar la pérdida de asentamiento ocurrida en cada mezcla para los diferentes aditivos y dosificaciones, pudiendo controlar esta variación para poder simular el transporte del concreto hasta su colocación en obra. Esta condición fue controlada satisfactoriamente en la mezcla de concreto autocompactante definitiva.
- El rango de betas óptimos encontrados durante la realización del estudio está entre 60 a 63%. Valores menores a 60% no se logran los valores de extensibilidad necesarios. El aporte de ultrafinos por parte de la arena se ve limitado en estos valores, además de presentar mayor tendencia a la segregación. Valores mayores al 63% no arrojaron resultados favorables, donde en la mezcla se observa una pasta muy densa que no permite el buen comportamiento reológico de la mezcla.
- Las mezclas de concreto autocompactante son muy susceptibles a las variaciones de los agregados. Cualquier cambio en el origen de los mismos provoca la pérdida de las características autocompactantes del concreto, donde las granulometrías de cada material tienen el mayor peso en este efecto. Variaciones de humedad también alteran de manera significativa las propiedades reológicas, pudiendo provocar segregación total de la mezcla por un exceso de humedad o no alcanzar los valores establecidos como parámetros en este estudio por un defecto de agua.
- Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión del concreto endurecido corresponden a un $f'c$ de 210 kg/cm². Los valores obtenidos del análisis estadístico cumplen con los requerimientos normativas.

- Los costos totales de producción y colocación del concreto autocompactante son mayores que los del concreto convencional con una misma resistencia, para los casos estudiados.
- El concreto autocompactante genera ventajas tales como: ausencia de segregación, mejora el acabado, el producto es más trabajable y fácil de colocar, puede ser utilizado en estructuras tipo túnel o encofrados estrechos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de un agregado grueso con una curva granulométrica mas uniforme, que presente una mejor gradación del material y que no esté limitada por los tamices 3/8" y 1/4".
- Se sugiere realizar pruebas de mezcla con la utilización de diferentes arenas de la zona, ya que en este estudio solo se utilizó arena proveniente de la arenera El Carmen, que aporten un mayor contenido de ultrafinos para generar mejoras en el comportamiento reológico de la misma.
- Se recomienda el estudio de polvillos de piedra de diferentes canteras de la zona, para evaluar sus características y su incidencia en las mezclas de concreto autocompactante.
- Realizar estudios de la mezcla autocompactante diseñada aplicando los diferentes ensayos adicionales existentes para concretos autocompactantes, como lo son Orimet, caja en U, J-Ring, caja de llenado, columna de segregación, etc. y evaluar sus resultados.
- Realizar pruebas con la sinergia entre WRDA-79 y Glenium 3000, para aprovechar las propiedades de ambos aditivos.
- Realizar pruebas industriales con la mezcla de autocompactante diseñada, para observar su comportamiento en obra y las ventajas y desventajas de su colocación.
- Para el uso de la mezcla de concreto autocompactante bajo las condiciones de mezclado tipo II es recomendable la orientación y preparación del personal responsable de la dosificación del aditivo VISCOCRETE 6 en obra.
- Realizar estudios de la influencia en los costos totales del concreto autocompactante debido a mejoras en la eficiencia de la colocación del concreto en obra.

BIBLIOGRAFIA

ALBOUKREK, AARÓN; FUENTES SÁENZ, GLORIA. “Diccionario de Sinónimos, Antónimos e ideas afines”. Ediciones Larousse. México D.F..

BENGARAY, MANUEL. “Manual para la ejecución del Trabajo Especial de Grado (T.E.G.)”. Publicación del Departamento de Ingeniería Vial. Caracas, Venezuela. 1999. Segunda Edición.

HERNANDEZ SAMPIERI, ROBERTO; FERNÁNDEZ COLLADO, CARLOS; BAPTISTA LUCIO, PILAR. “Metodología de la Investigación”. Editorial McGraw – Hill Interamericana de México, S.A. 1996.

HIDALGO, Julissa. “Métodos de medir la estabilidad del concreto auto-compactable”. Universidad de Illinois en Urbana-Champaign. Agosto 3, 2004

INSTITUTO DE INGENIEROS UNAM, “Manual del Concreto”, Editorial Limusa, Noriega Editores, 2001.

PORRERO, JOAQUÍN; RAMOS, CARLOS; GRASES, JOSÉ; VELAZCO, GILBERTO. “Manual del Concreto Estructural”. Venezuela, Sidetur, Enero 2004, primera edición.

Trabajos de Grado consultados:

Ayala P., Carlos Eduardo; Rolo C., Piter Joshua. (2002). *Diseños de Mezcla para Concretos Autocompactantes utilizados en Obras Civiles en Venezuela*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Nacional, Caracas, Venezuela.

Bobadilla O., David; Hamoni J., George. (2004). *Propuestas para diseño de alta resistencia a edades tempranas usando aditivos de acción Físico-Químicas*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Ingeniería Civil, Caracas, Venezuela.

Páginas Web Consultadas:

<http://cemexvenezuela.com>, extraído el 16 octubre, 2005.

<http://www.degussa-cc-la.com>, extraído el 07 noviembre, 2005.

<http://www.grace.com>, extraído el 07 noviembre, 2005.

<http://www.sika.es>, extraído el 07 noviembre, 2005.

Normas consultadas

Norma COVENIN 28:2003. "Cemento Portland Especificaciones". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2003.

Norma COVENIN 255:1998. "Agregados. Determinación de la composición granulométrica". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1998.

Norma COVENIN 263:1978. "Método de Ensayo para determinar el Peso Unitario del Agregado". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1978.

Normas COVENIN 267:1978. "Método de ensayo para determinar le resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 38.1 mm por medio de la máquina de Los Ángeles". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1978.

Normas COVENIN 267:1978. "Método de ensayo para determinar le resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 19.0 mm por medio de la máquina de Los Ángeles". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1978.

Normas COVENIN 268:1998. "Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1998.

Normas COVENIN 269:1998. "Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1998.

Normas COVENIN 271:1978. "Método de ensayo para determinar la disgregabilidad de agregado por medio del sulfato de sodio o sulfato de magnesio". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1978.

Norma COVENIN 277:2000. "Concretos. Agregados. Requisitos". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2000.

Norma Covenin 338:2002. "Concretos. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2002.

Norma COVENIN 339:1994. "Concretos. Método para medir el asentamiento con el cono de Abrams". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1994.

Norma Covenin 348:2004. "Concreto Fresco. Determinación del contenido de aire. Método de presión". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2004.

Norma Covenin 352:1979. "Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1979.

Norma Covenin 354:2001. "Concreto. Método para mezclado en laboratorio". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2001.

Normas COVENIN 356:1994 "Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1994.

Norma COVENIN 1753:1987. "Proyecto y diseño de obras en concreto estructural". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1987.

Norma Covenin 1976:1987. "Evaluación de los métodos de resistencia del concreto". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 1987.

Norma COVENIN 2385:2000. "Agua de Mezclado para concretos y morteros especificaciones". Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, 2000.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Glosario

Absorción: Proceso mediante el cual un líquido penetra y trata de ocupar los vacíos permeables existentes en un sólido poroso. *(Porrero, 2004)*

Acero de Refuerzo: Conjunto de barras, mallas o alambres que se colocan dentro del concreto para resistir tensiones conjuntamente con este. También denominado: Armadura. *(Porrero, 2004)*

Aditivo: Materiales diferentes del cemento, agregados o agua que se incorporan en pequeñas cantidades al concreto, antes o durante su mezcla, para modificar algunas de sus propiedades sin perjudicar su durabilidad. *(Porrero, 2004)*

Aditivo Reductor de Agua: Aditivo que incrementa el asentamiento en el concreto fresco sin aumentar la cantidad de agua o mantiene el asentamiento permitiendo reducciones de la cantidad de agua. *(Porrero, 2004)*

Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango: Aditivo capaz de permitir grandes reducciones de agua o grandes aumentos en la fluidez del concreto sin producir retardos de fraguado o incorporación de aire indeseable. *(Porrero, 2004)*

Agregado: Material granular, generalmente inerte, natural o no, el cual se mezcla con cemento hidráulico y agua para producir morteros y concretos. *(Porrero, 2004)*

Aire Atrapado: Aire que no llega a escapar de la mezcla, predominantemente en forma de burbujas planas, aún con una adecuada compactación del concreto. *(Porrero, 2004)*

Asentamiento: Medida de la consistencia del concreto fresco.

Calor de Hidratación: Calor desarrollado por reacciones químicas por el agua, tales como las producidas durante el proceso de fraguado y endurecimiento del cemento portland. *(Porrero, 2004)*

Cangrejera: Oquedad o vacío manifiesto, en una masa o pieza de concreto endurecido. *(Porrero, 2004)*

Capping: Refrentado. *(Porrero, 2004)*

Cemento: Material inorgánico finamente molido que al mezclarse con el agua forma una pasta que endurece por reacciones y procesos de hidratación.

Después del endurecimiento mantiene su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. *(Porrero, 2004)*

Cemento Portland: Cemento hidráulico producido generalmente al pulverizar clinker de cemento Portland, con sulfato de calcio. *(Porrero, 2004)*

Compactación: Es la operación manual o mecánica, por medio de la cual se trata de densificar la masa de concreto fresco, reduciendo a un mínimo los vacíos. *(Porrero, 2004)*

Compactibilidad: Mayor o menor facilidad para que el concreto fresco se adapte a un encofrado, ocupando espacios dejados por las armaduras. No está representada por el asentamiento del Cono de Abrams. *(Porrero, 2004)*

Concreto: Mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que mediante la hidratación del cemento adquiere consistencia pétreo. *(Porrero, 2004)*

Concreto Armado: Concreto Reforzado o Concreto Estructural.

Concreto Endurecido: Concreto que a desarrollado suficiente resistencia para poder soportar las cargas especificadas. *(Porrero, 2004)*

Concreto Fresco: Estado fluido del concreto, que mantiene su capacidad de colocación; esta denominación se extiende desde el momento del mezclado hasta que se indica el atiesamiento de la masa por el fraguado. *(Porrero, 2004)*

Concreto Premezclado: Concreto que se dosifica en una planta y se transporta a la obra generalmente en camiones mezcladores agitadores. *(Porrero, 2004)*

Consistencia: Es la movilidad o habilidad relativa que posee una mezcla de concreto fresco para fluir. Usualmente se mide mediante el asentamiento en el caso del concreto, flujo en los morteros y resistencia a la penetración para la pasta de cemento. *(Porrero, 2004)*

Contenido de Aire: Diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el que resulta de la suma de los volúmenes absolutos de los componentes. *(Porrero, 2004)*

Curado: Proceso de modificar mediante riego, inmersión, suministro de calor o vapor, las condiciones ambientales que rodea la pieza o bien aislarla del exterior mediante recubrimientos que impiden que emigre el agua libre. *(Porrero, 2004)*

Curado del Concreto: Procedimiento que asegura la temperatura y humedad necesarias para que se cumplan las reacciones de hidratación del cemento, propias de los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto. *(Porrero, 2004)*

Densidad: Masa por unidad de volumen.

Diseño de Mezclas: Procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades de todos los componentes de una mezcla de concreto, para alcanzar el comportamiento deseado. *(Porrero, 2004)*

Dosificación: Proporción en peso o en volumen, según la cual se mezclan los componentes del concreto. *(Porrero, 2004)*

Esfuerzo: Tensión.

Finos: Agregados que pasan en su totalidad el tamiz de 3/8" \leq de abertura.

Fluidez: Grado de movilidad o calidad de fluido que puede tener la mezcla de concreto. *(Porrero, 2004)*

Fraguado: Proceso de hidratación de los distintos componentes de un aglomerante hidráulico, mediante el cual este adquiere mayor consistencia, la cual se pone de manifiesto en los ensayos tipificados. *(Porrero, 2004)*

Granulometría: Distribución de los tamaños (diámetros) de los granos que constituyen un agregado. *(Porrero, 2004)*

Granulometría Continua: Granulometría en la cual se encuentran presentes las fracciones intermedias. *(Porrero, 2004)*

Ley de Abrams: Establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento en peso. *(Porrero, 2004)*

Mezcla: Es la cantidad de concreto o mortero que se prepara de una sola vez.

Módulo de Finura: Aplicado a las arenas, es una vlor que se obtiene sumando los porcentajes de los retenidos acumulados sobre los tamices de la serie normativa, dividido por cien. *(Porrero, 2004)*

Muestra: Es una porción representativa de un material.

Muestra simple: Es la que se obtiene de una sola operación de muestreo. *(Porrero, 2004)*

Pasta de Cemento: Aglomerante de concretos y morteros constituido fundamentalmente por cemento, agua, productos de hidratación y aditivos, conjuntamente con el material más fino proveniente de los agregados. *(Porrero, 2004)*

Porosidad: La relación usualmente expresada en porcentaje, entre el volumen de vacíos del material y su volumen total incluyendo los vacíos. *(Porrero, 2004)*

Puzolanas: Materiales silicios o aluminosilicios que por sí solos no poseen propiedades cementicias, pero que al ser molidos finamente y en presencia de humedad reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente, formando compuestos con propiedades cementicias. Existen puzolanas naturales (rocas volcánicas, esquistos) y artificiales (cenizas volantes y microsilíce). *(Porrero, 2004)*

Radio de Acción del Vibrador: Distancia aproximada medida desde el eje del vibrador, en la cual su acción genera un flujo de agua y cemento superficial, de apariencia acuosa y abrigantada. *(Porrero, 2004)*

Rango: Magnitud de la diferencia entre el valor mayor y el menor de un grupo de datos. *(Porrero, 2004)*

Refrentado (o Remate): Delgada capa de mortero u otro material, dispuesta en los extremos de las probetas cilíndricas, para su ensayo a la compresión. *(Porrero, 2004)*

Reología: Conjunto de características de la mezcla de concreto, antes de su fraguado, que posibilitan su manejo y posterior compactación. También se designa así al estudio de las deformaciones lentas del concreto endurecido. *(Porrero, 2004)*

Resistencia: Es el término genérico para designar la habilidad de un material para resistir deformaciones o rotura inducidas por fuerzas externas. (Resistencia en compresión, tensión, corte, fatiga). *(Porrero, 2004)*

Retracción: Disminución de volumen que sufre el concreto con el tiempo debido principalmente a la pérdida de agua. *(Porrero, 2004)*

Segregación: Separación de los distintos componentes de una mezcla de concreto o de mortero fresco durante el transporte o colocación. *(Porrero, 2004)*

Superplastificante: Aditivos reductores de agua con acción plastificante; facilita incrementos del asentamiento sin segregación, ni incorporación de aire atrapado.

Tensión: Fuerza por unidad de área.

Tiempo de Fraguado: Lapso de tiempo desde el mezclado hasta el momento de aparición del atiesamiento o pérdida de plasticidad de la pasta. *(Porrero, 2004)*

Trabajabilidad: Conjunto de propiedades del concreto fresco que permitan manejarlo, colocarlo en los moldes y compactarlos, sin que se produzca segregación. En forma no siempre representativa de esas propiedades, se evalúa con el asentamiento del cono de Abrams o con el ensayo de extensibilidad. *(Porrero, 2004)*

Trompo: Recipiente para el mezclado del concreto, cuyo volumen tiene forma troncocónica, que puede rotar alrededor de un eje perpendicular al mezclado. *(Porrero, 2004)*

Ultrafinos: Partículas de agregado de menor tamaño, principalmente para tamiz #200 (74 micras). Ocasionalmente se toma como tamiz de referencia el #100 (149 micras) o el #50 (297 micras). *(Porrero, 2004)*

Vibración: Agitación enérgica del concreto fresco durante su colocación, empleando dispositivos mecánicos, neumáticos o eléctricos para crear impulsos vibratorios de moderada a alta frecuencia, para facilitar la consolidación del concreto en su encofrado. *(Porrero, 2004)*

ANEXO N° 2

Granulometría de la arena utilizada

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta: La Bandera **Fecha del Ensayo:** 08-06-05
Arena
Agregado: Lavada **Tesistas:** Br. Carlos Sanabria
Peso Tara (grs.): 360,9 Br. John Wright
Peso Total Muestra (grs.): 2852,2
Proveedor: El Carmen
Origen:

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	2852,20	100,00
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	2852,20	100,00
25,400	1"	0,00	0,00	2852,20	100,00
19,100	3/4"	0,00	0,00	2852,20	100,00
12,700	1/2"	0,00	0,00	2852,20	100,00
9,530	3/8"	5,20	0,18	2847,00	99,82
6,350	1/4"	191,40	6,89	2655,60	93,11
4,760	#4	284,20	16,86	2371,40	83,14
2,380	#8	618,00	38,52	1753,40	61,48
1,190	#16	398,70	52,50	1354,70	47,50
0,595	#30	599,90	73,54	754,80	26,46
0,298	#50	99,60	77,03	655,20	22,97
0,149	#100	183,50	83,46	471,70	16,54
	#200	80,50	86,28	391,20	13,72

Módulo de Finura: 3,42 %

Cálculo del Módulo de Finura

Número Módulo	Tamiz	Retenido (%)	Acumulado (%)
8	3/4"	0,00	100,00
7	3/8"	0,18	99,82
6	#4	16,86	83,14
5	#8	38,52	61,48
4	#16	52,50	47,50
3	#30	73,54	26,46
2	#50	77,03	22,97
1	#100	83,46	16,54
	Suma		457,91
	Módulo de Finura	3,42	

ANEXO N° 3

Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la arena utilizada (Fuente: UCAB,
Laboratorio de materiales de Construcción)

ENSAYO DE DIGREGABILIDAD A LOS SULFATOS COVENIN 271:1978

DATOS DE CAMPO: ARENA EL CARMEN
TIPO DE MUESTRA: ARENA LAVADA

Tamaño mínimo de muestra: 1,19 mm (#16)
Tamaño máximo de muestra: 2,38 mm (#8)

Tipo de solución:

MgSO₄

% TOTAL DE DISGREGABILIDAD:

11,60%

ANEXO N° 4

Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la arena utilizada

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE
PASANTE DEL TAMIZ #200**

FECHA DE ENSAYO	22/07/2006	25/07/2006	27/07/2006
PROVEEDOR	EL CARMEN	EL CARMEN	EL CARMEN
TIPO DE MATERIAL	ARENA	ARENA	ARENA
ORIGEN	SILICIA	SILICIA	SILICIA
PESO TOTAL MUESTRA SECA (W ₀)	2261,4	2221,4	2245,8
PESO SECO RETENIDO TAMIZ #200 (W ₁)	2205,4	2167,1	2185,9
PORCENTAJE PASANTE TAMIZ #200	2,48%	2,44%	2,67%

ANEXO N° 5

Peso específico y absorción de la arena de origen silicia utilizada.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL

AGREGADO FINO

<u>FECHA:</u>	23/06/2005	<u>TIPO DE MATERIAL:</u>	ARENA
<u>PROVEEDOR:</u>	APONTE	<u>ORIGEN DEL MATERIAL:</u>	SILICIA

PICNOMETRO

Wp	Peso del Picnómetro + Arena + Agua	1000,20 gr
W1	Peso de la Arena Seca	496,00 gr
Wa	Peso del Picnómetro + Agua	687,43 gr
W	Peso de la Muestra (SSS)	501,00 gr

CALCULOS

Peso Específico (SSS)	2,66	$\gamma = \left[\frac{W}{W_a + W - W_p} \right]$
% de Absorción	1,0	$\%A = \left[\frac{W - W_1}{W_1} \right] \cdot 100$

FRASCO CHAPMAN

L	Lectura del nivel del Agua	_____	C C
A	Desplazamiento de Agua (L-200)	_____	C C
Peso Específico (SSS)	2,66	$\gamma = \left[\frac{500}{A} \right]$	

ANEXO Nº 6

Peso unitario de la arena de origen silicia utilizada.

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

<u>FECHA:</u>	23/06/2005	<u>TIPO DE MATERIAL:</u>	ARENA
<u>PROVEEDOR:</u>	EL CARMEN	<u>ORIGEN DEL MATERIAL:</u>	SILICIA

PESO UNITARIO COMPACTO (P.U.C.)

V	Volumen del Recipiente	<u>7,00</u>	ml
W	Peso del Recipiente	<u>6131,00</u>	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>18425,00</u>	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>18430,00</u>	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>18420,00</u>	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	<u>18425,00</u>	gr
Wnc=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	<u>12294,00</u>	gr
P.U.C.=Wnc/V	Peso Unitario Compacto	<u>1756</u>	gr/ml

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

V	Volumen del Recipiente	<u>7,00</u>	ml
W	Peso del Recipiente	<u>6131,00</u>	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17485,00</u>	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17450,00</u>	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17540,00</u>	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	<u>17491,67</u>	gr
Wns=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	<u>11360,67</u>	gr
P.U.C.=Wns/V	Peso Unitario Suelto	<u>1623</u>	gr/ml

ANEXO N° 7

Granulometría de la piedra 3/4^a de origen caliza utilizada

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta:	La Bandera	Fecha del Ensayo:	23-06-05
Agregado:	Piedra 3/4"	Tesistas:	Br. Carlos Sanabria Br. John Wright
Peso Tara (grs.):	0		
Peso Total Muestra (grs.):	5376,6		
Proveedor:	C.N.		
Origen:	Caliza		

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	5376,60	100,00
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	5376,60	100,00
25,400	1"	0,00	0,00	5376,60	100,00
19,100	3/4"	260,70	4,85	5115,90	95,15
12,700	1/2"	3414,90	63,51	1701,00	31,64
9,530	3/8"	1363,00	25,35	338,00	6,29
6,350	1/4"	338,00	6,29	0,00	0,00
4,760	#4	0,00	0,00	0,00	0,00
2,380	#8	0,00	0,00	0,00	0,00
1,190	#16	0,00	0,00	0,00	0,00
0,595	#30	0,00	0,00	0,00	0,00
0,298	#50	0,00	0,00	0,00	0,00
0,149	#100	0,00	0,00	0,00	0,00
	#200	0,00	0,00	0,00	0,00

ANEXO N° 8

Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada

DETERMINACION DEL PORCENTAJE PASANTE DEL TAMIZ #200

FECHA DE ENSAYO	21/06/2005	22/06/2005	27/06/2005
PROVEEDOR	C. NACIONAL	C. NACIONAL	C. NACIONAL
TIPO DE MATERIAL	PIEDRA 3/4"	PIEDRA 3/4"	PIEDRA 3/4"
ORIGEN	CALIZA	CALIZA	CALIZA
PESO TOTAL MUESTRA SECA (W ₀)	5195,2	5270,5	5195,2
PESO SECO RETENIDO TAMIZ #200 (W ₁)	5153,2	5223,5	5153,5
PORCENTAJE PASANTE TAMIZ #200	0,81%	0,89%	0,80%

ANEXO N° 9

Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.
(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

ENSAYO DE DIGREGABILIDAD A LOS SULFATOS COVENIN 271:1978

DATOS DE CAMPO: CANTERA NACIONAL
TIPO DE MUESTRA: PIEDRA 3/4"

Tamaño mínimo de muestra: 9,51 mm (#3/8")
Tamaño máximo de muestra: 12,7 mm (#1/2")

Tipo de solución: Na₂SO₄

%TOTAL DE DISGREGABILIDAD:	2,38%
-----------------------------------	--------------

ANEXO Nº 10

Ensayo de desgaste de los ángeles de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.

(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

DESGASTE DE LOS ÁNGELES COVENIN 267:1978 / ASTM C535 ó C131

PROCEDENCIA: CANTERA NACIONAL
IDENTIFICACIÓN: PIEDRA 3/4" CALIZA

Tipo de gradación empleada
Peso Total de la muestra (Wo)

B
5000,0

Peso Retenido en el Tamiz#12 (Wi)	3815,0
Desgaste (Wo-W1/Wo)x100	23,7%

DESGASTE DEL MATERIAL = 24%

TABLA PARA EL AJUSTE DE GRADACIÓN

TAMICES U.S.		TIPO DE GRADACIÓN (peso en gr.)						
PASANTE	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					2500	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	#4			2500				
#4	#8				5000			
No. De esferas por usar		12	11	8	6	12	12	12
No. De rotaciones del tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

ANEXO Nº 11

Peso específico y absorción de la piedra 3/4" de origen caliza utilizada.

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL
AGREGADO GRUESO**

<u>FECHA:</u>	23/06/2005	<u>TIPO DE MATERIAL:</u>	PIEDRA 3/4"
<u>PROVEEDOR:</u>	C. NACIONAL	<u>ORIGEN DEL MATERIAL:</u>	CALIZA

DATOS

W1	Peso de la muestra Seca	496,99 gr
W2	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	500,30 gr
W3	Peso de la Muestra Sumergida	316,50 gr

CALCULOS

$$Y_{sss} = \left[\frac{W_2}{W_2 - W_3} \right]$$

Peso Específico Saturado con Superficie Seca 2,72 gr/ml

$$\%A = \left[\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right]$$

% de Absorción 0,67 %

ANEXO Nº 12

Peso unitario de la piedra ¾" de origen caliza utilizada.

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

<u>FECHA:</u>	18/06/2005	<u>TIPO DE MATERIAL:</u>	PIEDRA ¾"
<u>PROVEEDOR:</u>	C. NACIONAL	<u>ORIGEN DEL MATERIAL:</u>	CALIZA

PESO UNITARIO COMPACTO (P.U.C.)

V	Volumen del Recipiente	<u>7,00</u>	m l
W	Peso del Recipiente	<u>6131,00</u>	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17520,00</u>	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17530,00</u>	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17510,00</u>	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	<u>17520,00</u>	gr

Wnc=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	<u>11389,00</u> gr
P.U.C.=Wnc/V	Peso Unitario Compacto	<u>1627</u> gr/ml

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

V	Volumen del Recipiente	<u>7,00</u> m l
W	Peso del Recipiente	<u>6131,00</u> gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17250,00</u> gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17255,00</u> gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	<u>17265,00</u> gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	<u>17256,67</u> gr
Wns=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	<u>11125,67</u> gr
P.U.C.=Wns/V	Peso Unitario Suelto	<u>1589</u> gr/ml

ANEXO Nº 13

Granulometría de la piedra 3/4^a de origen silicia utilizada

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta:	La Bandera	Fecha del Ensayo:	10-06-05
Agregado:	Piedra 3/4"	Tesistas:	Br. Carlos Sanabria Br. John Wright
Peso Tara (grs.):	361		
Peso Total Muestra (grs.):	9694		
Proveedor:			
Origen:	Silicia		

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	9694,00	100,00
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	9694,00	100,00
25,400	1"	0,00	0,00	9694,00	100,00
19,100	3/4"	109,00	1,12	9585,00	98,88
12,700	1/2"	3312,00	35,29	6382,00	65,83
9,530	3/8"	2883,00	65,03	6811,00	70,26
6,350	1/4"	2328,00	89,04	7366,00	75,99
4,760	#4	0,00	89,04	9694,00	100,00
2,380	#8	0,00	89,04	9694,00	100,00
1,190	#16	0,00	89,04	9694,00	100,00
0,595	#30	0,00	89,04	9694,00	100,00
0,298	#50	0,00	89,04	9694,00	100,00

0,149	#100	0,00	89,04	9694,00	100,00
	#200	0,00	89,04	9694,00	100,00

ANEXO Nº 14

Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 de la piedra ¾" de origen silicia utilizada

DETERMINACION DEL PORCENTAJE PASANTE DEL TAMIZ #200

FECHA DE ENSAYO	21/06/2005	22/06/2005	27/06/2005
PROVEEDOR	PTE. AREA	PTE. AREA	PTE. AREA
TIPO DE MATERIAL	PIEDRA ¾"	PIEDRA ¾"	PIEDRA ¾"
ORIGEN	SILICIA	SILICIA	SILICIA
PESO TOTAL MUESTRA SECA (Wo)	5124,3	5180,6	5220,8
PESO SECO RETENIDO TAMIZ #200 (W1)	5080,2	5131,8	5173,8
PORCENTAJE PASANTE TAMIZ #200	0,86%	0,94%	0,90%

ANEXO Nº 15

Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos de la piedra $\frac{3}{4}$ " de origen silicia utilizada.

(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

ENSAYO DE DIGREGABILIDAD A LOS SULFATOS COVENIN 271:1978

DATOS DE CAMPO: PTE AREA
TIPO DE MUESTRA: PIEDRA 3/4"

Tamaño mínimo de muestra: 9,51 mm (#3/8")
Tamaño máximo de muestra: 12,7 mm (#1/2")

Tipo de solución: Na₂SO₄

%TOTAL DE DISGREGABILIDAD:	1,05%
-----------------------------------	--------------

ANEXO Nº 16

Ensayo de desgaste de los ángulos de la piedra ¾" de origen silicia utilizada.

(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

DESGASTE DE LOS ÁNGELES COVENIN 267:1978 / ASTM C535 ó C131

PROCEDENCIA:
IDENTIFICACIÓN:

PTE. AREA
PIEDRA ¾" SILICIA

Tipo de gradación empleada	B
Peso Total de la muestra (Wo)	5000,0
Peso Retenido en el Tamiz#12 (Wi)	3785,0
Desgaste (Wo-W1/Wo)	21,5

DESGASTE DEL MATERIAL = 22%

TABLA PARA EL AJUSTE DE GRADACIÓN

TAMICES U.S.		TIPO DE GRADACIÓN (peso en gr.)						
PASANTE	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					2500	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	¾"	1250						5000
¾"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				

1/4"	#4			2500				
#4	#8				5000			
No. De esferas por usar		12	11	8	6	12	12	12
No. De rotaciones del tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

ANEXO Nº 17

Peso específico y absorción de la piedra 3/4ª de origen silicia utilizada.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

FECHA: 23/06/2005 TIPO DE MATERIAL: PIEDRA 3/4"
PROVEEDOR: ARAGUITA ORIGEN DEL MATERIAL: SILICIA

DATOS

W1	Peso de la muestra Seca	496,00 gr
W2	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	500,00 gr
W3	Peso de la Muestra Sumergida	311,00 gr

CALCULOS

$$Y_{sss} = \left[\frac{W2}{W2 - W3} \right]$$

Peso Específico Saturado con Superficie Seca 2,65 gr/ml

$$\%A = \left[\frac{W2 - W1}{W1} \right]$$

% de Absorción 0,8 %

ANEXO Nº 18

Peso unitario de la piedra 3/4^a de origen silicia utilizada.

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

<u>FECHA:</u>	23/06/2005	<u>TIPO DE MATERIAL:</u>	PIEDRA 3/4"
<u>PROVEEDOR:</u>	ARAGUITA	<u>ORIGEN DEL MATERIAL:</u>	SILICIA

PESO UNITARIO COMPACTO (P.U.C.)

V	Volumen del Recipiente	7,00	ml
W	Peso del Recipiente	6131,00	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18655,00	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18660,00	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18648,00	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	18654,33	gr
Wnc=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	12523,33	gr
P.U.C.=Wnc/V	Peso Unitario Compacto	<u>1789</u>	gr/ml

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

V	Volumen del Recipiente	7,00	ml
W	Peso del Recipiente	6131,00	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17775,00	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17780,00	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17770,00	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	17775,00	gr
Wns=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	11644,00	gr
P.U.C.=Wns/V	Peso Unitario Suelto	<u>1663</u>	gr/ml

ANEXO Nº 19

Granulometría de la piedra 3/8ª de origen silicia utilizada

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta: La Bandera **Fecha del Ensayo:** 23-06-05
Agregado: Arrocillo 3/8" **Tesistas:** Br. Carlos Sanabria
Peso Tara (grs.): Br. John Wright
Peso Total Muestra (grs.): 4866,7
Proveedor: C.N.
Origen: Silicia

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	4866,70	100,00
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	4866,70	100,00
25,400	1"	0,00	0,00	4866,70	100,00
19,100	3/4"	0,00	0,00	4866,70	100,00
12,700	1/2"	8,70	0,18	4858,00	99,82
9,530	3/8"	1545,90	31,76	3312,10	68,06
6,350	1/4"	3035,90	62,38	276,20	5,68
4,760	#4	119,20	2,45	157,00	3,23
2,380	#8	95,90	1,97	61,10	1,26
1,190	#16	2,40	0,05	58,70	1,21
0,595	#30	8,10	0,17	50,60	1,04
0,298	#50	4,90	0,10	45,70	0,94
0,149	#100	15,80	0,32	29,90	0,61
	#200	29,90	0,61	0,00	0,00

ANEXO Nº 20

Determinación del porcentaje pasante del tamiz #200 del arrocillo 3/8" de origen silicia utilizado

**DETERMINACION DEL PORCENTAJE
PASANTE DEL TAMIZ #200**

FECHA DE ENSAYO	27/06/2005	27/06/2005	27/06/2005
PROVEEDOR	C. NACIONAL	C. NACIONAL	C. NACIONAL
TIPO DE MATERIAL	ARROCILLO 3/8"	ARROCILLO 3/8"	ARROCILLO 3/8"
ORIGEN	SILICIA	SILICIA	SILICIA
PESO TOTAL MUESTRA SECA (W ₀)	5200,7	5380,1	5360,2
PESO SECO RETENIDO TAMIZ #200 (W ₁)	5160,1	5328,9	5305,6
PORCENTAJE PASANTE TAMIZ #200	0,78%	0,95%	0,91%

ANEXO Nº 21

Ensayo de disgregabilidad a los sulfatos del arrocillo 3/8" de origen silicia
utilizado.

(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

**ENSAYO DE DIGREGABILIDAD A LOS SULFATOS
COVENIN 271:1978**

DATOS DE CAMPO: ARAGUITA
TIPO DE MUESTRA: ARROCILLO 3/8"

Tamaño mínimo de muestra: 19 mm (#3/4")
Tamaño máximo de muestra: 25,4 mm (#1")

Tipo de solución: Na₂SO₄

%TOTAL DE DISGREGABILIDAD:	4,06%
-----------------------------------	--------------

ANEXO Nº 22

Ensayo de desgaste de los ángeles deL arrocillo 3/8" de origen silicia utilizado.

(Fuente: UCAB, Laboratorio de materiales de Construcción)

**DESGASTE DE LOS ÁNGELES
COVENIN 267:1978 / ASTM C535 ó C131**

PROCEDENCIA:
IDENTIFICACIÓN:

ARAGUITA
ARROCILLO 3/8"
SILICIA

Tipo de gradación empleada	B
Peso Total de la muestra (Wo)	5000,0
Peso Retenido en el Tamiz#12 (Wi)	3659,0
Desgaste (Wo-W1/Wo)x100	26,8

DESGASTE DEL MATERIAL = 27%

TABLA PARA EL AJUSTE DE GRADACIÓN

TAMICES U.S.		TIPO DE GRADACIÓN (peso en gr.)						
PASANTE	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					2500	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	#4			2500				
#4	#8				5000			
No. De esferas por usar		12	11	8	6	12	12	12
No. De rotaciones del tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

ANEXO Nº 23

Peso específico y absorción de la piedra 3/8" de origen silicia utilizada.

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL
AGREGADO GRUESO**

FECHA: 23/06/2005
PROVEEDOR: ARAGUITA

TIPO DE MATERIAL: ARROCILLO 3/8"
ORIGEN DEL MATERIAL: SILICIA

DATOS

W1	Peso de la muestra Seca	<u>496,00</u>	gr
W2	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	<u>500,00</u>	gr
W3	Peso de la Muestra Sumergida	<u>311,00</u>	gr

CALCULOS

$$Y_{sss} = \left[\frac{W2}{W2 - W3} \right]$$

Peso Específico Saturado con Superficie Seca 2,65 gr/ml

$$\%A = \left[\frac{W2 - W1}{W1} \right]$$

% de Absorción 0,8 %

ANEXO Nº 24

Peso unitario de la piedra 3/8" de origen silicia utilizada.

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

FECHA: 23/06/2005 TIPO DE MATERIAL: ARROCILLO 3/8"
PROVEEDOR: ARAGUITA ORIGEN DEL MATERIAL: SILICIA

PESO UNITARIO COMPACTO (P.U.C.)

V	Volumen del Recipiente	7,00	m l
W	Peso del Recipiente	6131,00	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18655,00	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18660,00	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	18648,00	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	18654,33	gr
Wnc=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	12523,33	gr
P.U.C.=Wnc/V	Peso Unitario Compacto	1789	gr/ml

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.)

V	Volumen del Recipiente	7,00	m l
W	Peso del Recipiente	6131,00	gr
W1	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17775,00	gr
W2	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17780,00	gr
W3	Peso del Agregado Compacto + Recipiente	17770,00	gr
W4=(W1+W2+W3)/3	Peso promedio del agregado compacto + recipiente	17775,00	gr
Wns=W4-W	Peso Neto Promedio del Agregado Compacto	11644,00	gr
P.U.C.=Wns/V	Peso Unitario Suelto	1663	gr/ml

ANEXO Nº 25

Granulometría del polvillo de piedra utilizado

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta:	La Bandera	Fecha del Ensayo:	04-10-05
Agregado:	Polvillo de piedra	Laboratoristas - Tesisas:	Br. Carlos Sanabria Br. John Wright
Peso Tara (grs.):		Peso Lavado Muestra (grs.):	632,5
Peso Total Muestra (grs.):	632,5		
Proveedor:	C.N.		
Origen:			

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	632,50	100

38,100	1 1/2"	0,00	0,00	632,50	100
25,400	1"	0,00	0,00	632,50	100
19,100	3/4"	0,00	0,00	632,50	100
12,700	1/2"	0,00	0,00	632,50	100
9,530	3/8"	1,14	0,18	631,36	99,82
6,350	1/4"	26,38	4,17	606,12	95,83
4,760	#4	74,00	11,70	558,50	88,3
2,380	#8	197,72	31,26	434,78	68,74
1,190	#16	292,47	46,24	340,03	53,76
0,595	#30	423,46	66,95	209,04	33,05
0,298	#50	465,84	73,65	166,66	26,35
0,149	#100	593,35	93,81	39,15	6,19

ANEXO Nº 26

Granulometría del polvillo de electrofiltro utilizado

Ensayo Granulométrico de Agregados

Planta:	La Bandera Polvillo electrofiltro	Fecha del Ensayo:	10-09-05
Agregado:		Laboratoristas - Tesistas:	Br. Carlos Sanabria Br. John Wright
Peso Tara (grs.):		Peso Lavado Muestra (grs.):	
Peso Total Muestra (grs.):	582,6		582,6
Proveedor:			
Origen:			

(mm)	Tamiz	Retenido (gr.)	Retenido (%)	Pasante (gr.)	Pasante (%)
50,800	2"	0,00	0,00	582,60	100
38,100	1 1/2"	0,00	0,00	582,60	100
25,400	1"	0,00	0,00	582,60	100
19,100	3/4"	0,00	0,00	582,60	100

12,700	1/2"	0,00	0,00	582,60	100
9,530	3/8"	0,00	0,00	582,60	100
6,350	1/4"	0,00	0,00	582,60	100
4,760	#4	0,00	0,00	582,60	100
2,380	#8	0,00	0,00	582,60	100
1,190	#16	0,00	0,00	582,60	100
0,595	#30	0,00	0,00	582,60	100
0,298	#50	0,00	0,00	582,60	100
0,149	#100	46,61	8,00	535,99	92

ANEXO N°27

Ensayos del Cemento Utilizado

ANEXO° 28

Tiempo de fraguado validación #7

DETERMINACION DE TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACION

FECHA: 31/10/2005

TEMP. DEL MORTERO: 28°C

HORA DE
FABRICACION: 10:00

	HORA	TIEMPO ACUMULADO	FUERZA	AREA AGUJA	RESISTENCIA PENETRACION
	(h:min)	(h:min)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)
FRAG. INICIAL	13:00	3:00	0,00	0,65039	0
	14:00	4:00	0,00	0,65039	0
	15:00	5:00	15,88	0,65039	24,4
	16:00	6:00	27,22	0,65039	41,9
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
FRAG. FINAL	17:00	7:00	34,02	0,16619	204,7
	18:00	8:00	49,90	0,16619	300,3
	19:00	9:00	0,00	0,16619	0
				0,16619	
				0,16619	

FRAG. INICIAL (h:min)
6:36

FRAG. FINAL (h:min)
8:47

	TIEMPO (T)	PENETRACION (P)
1	5:00	24,4
2	6:00	41,9
3	7:00	204,7
4	8:00	300,3

ANEXO Nº 29

Tiempo de fraguado validación #8

DETERMINACION DE TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACION

FECHA: 01/11/2005

TEMP. DEL MORTERO: 27°C

HORA DE
FABRICACION: 9:00

	HORA	TIEMPO ACUMULADO	FUERZA	AREA AGUJA	RESISTENCIA PENETRACION
	(h:min)	(h:min)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)
FRAG. INICIAL	12:00	3:00	0,00	0,65039	0
	13:00	4:00	0,00	0,65039	0
	14:00	5:00	11,34	0,65039	17,4
	15:00	6:00	24,95	0,65039	38,4
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
FRAG. FINAL	16:00	7:00	39,92	0,16619	240,2
	17:00	8:00	55,34	0,16619	333
	18:00	9:00	0,00	0,16619	0
				0,16619	
				0,16619	

FRAG. INICIAL (h:min)
6:50

FRAG. FINAL (h:min)
8:25

	TIEMPO (T)	PENETRACION (P)
1	5:00	17,4
2	6:00	38,4
3	7:00	240,2
4	8:00	333

ANEXO Nº 30

Tiempo de fraguado validación #10

DETERMINACION DE TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CONCRETO POR RESISTENCIA A LA PENETRACION

FECHA: 02/11/2005

TEMP. DEL MORTERO: 29°C

HORA DE
FABRICACION: 9:00

	HORA	TIEMPO ACUMULADO	FUERZA	AREA AGUJA	RESISTENCIA PENETRACION
	(h:min)	(h:min)	(Kg)	(cm ²)	(Kg/cm ²)
FRAG. INICIAL	12:00	3:00	0,00	0,65039	0
	13:00	4:00	0,00	0,65039	0
	14:00	5:00	18,14	0,65039	27,9
	15:00	6:00	29,48	0,65039	45,3
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
			0,00	0,65039	0
FRAG. FINAL	16:00	7:00	38,56	0,16619	232
	17:00	8:00	54,43	0,16619	327,5
	18:00	9:00	0,00	0,16619	0
				0,16619	
				0,16619	

FRAG. INICIAL (h:min)
6:24

	TIEMPO (T)	PENETRACION (P)
1	5:00	27,9

FRAG. FINAL (h:min)
8:30

2	6:00	45,3
3	7:00	232
4	8:00	327,5

Anexo N° 31: Método para determinar el contenido de humedad del agregado fino por el ensayo del frasco de Chapman. *(ver anexo n° 13, Imagen #52)*

1. Llenar con agua el frasco de Chapman hasta la línea de 200 ml.
2. Tamizar una cantidad representativa de arena por el tamiz #4, se procede a pesar 500 gr. del material *(ver anexo n° 13, Imagen #51)* y se introducen en el frasco de Chapman con la ayuda de un embudo.
3. Se tapa la boca del frasco con un tapón de goma y se inclina levemente para limpiar las paredes internas a las cuales se le haya quedado adherida alguna partícula del material, posteriormente agite con movimientos circulares para que cualquier cantidad de aire atrapado pueda ser expulsado del agregado.
4. Se anota la lectura que alcanza el nivel de agua.

IMAGEN #36

Lectura alcanzada por el nivel de agua en el ensayo del frasco de Chapman



5. Con dicha lectura y conociendo el peso específico del agregado fino se entra en la tabla y se lee el valor correspondiente a la humedad.

TABLA #22

Tabla para conocer la humedad de un agregado fino por medio del ensayo del frasco de Chapman

Volumen Total	Peso específico del agregado fino										
	2,50	2,52	2,54	2,56	2,58	2,60	2,62	2,64	2,66	2,68	2,70
385	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
386	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3
387	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,6
388	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,3	1,0
389	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,3	0,6	1,3
390	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,6	1,0	1,6
391	-	-	-	-	-	-	0,0	0,6	1,0	1,3	2,0
392	-	-	-	-	-	0,0	0,3	1,0	1,3	1,6	2,3
393	-	-	-	-	-	0,3	0,6	1,3	1,6	2,0	2,7
394	-	-	-	-	0,0	0,6	1,0	1,6	2,0	2,3	3,0
395	-	-	-	0,0	0,3	1,0	1,3	2,0	2,3	2,7	3,3
396	-	-	-	0,3	0,6	1,3	1,6	2,3	2,7	3,0	3,7
397	-	-	0,0	0,6	1,0	1,6	2,0	2,7	3,0	3,3	4,0
398	-	0,0	0,3	1,0	1,3	2,0	2,3	3,0	3,3	3,7	4,3
399	-	0,3	0,6	1,3	1,6	2,3	2,7	3,3	3,7	4,0	4,7

ANEXO N° 32: Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración, según norma Covenin 352:1979.

1. Se toma una mezcla representativa del concreto a ensayar y se pasa por el tamiz #4 teniendo cuidado de recoger el mortero pasante sobre una bandeja no absorbente.
2. Se Remezcla la muestra de mortero, se coloca en una capa en el recipiente, los golpes no son necesarios debido a que se está evaluando un concreto autocompactante.
3. Se golpea levemente los lados del recipiente con el mazo de caucho o barra compactadota para cerrar los vacíos en la mezcla, luego se nivela y se afina la superficie tendiendo cuidado de que su nivel este al menos 10 mm por debajo del borde superior del molde.
4. A medida que avanza el tiempo se removerá con la pera de caucho o papel absorbente el agua de exudación. Se realizará esta práctica cada vez que se valla a efectuar una penetración. Además el molde debe estar cubierto por una tapa o paño húmedo para evitar la evaporación.
5. Se insertarán las agujas de acuerdo a su diámetro de mayor a menor. Se aplicará gradual y uniformemente una fuerza vertical hacia abajo sobre el aparato hasta que la aguja penetre el mortero hasta una profundidad de 25 mm. El tiempo requerido para dicha penetración es de 1 hora para concretos normales y media hora para concretos

acelerados, la distancia entre una medida y otra debe ser por lo menos de dos diámetros de la aguja, pero no menos de 10 mm.

6. Se calculará la fuerza de penetración por medio de la fórmula $P = \text{Fuerza (Kgf)} / \text{área de aguja (cm)}$.
7. Se realizará el fraguado inicial según se indica: tomar los intervalos de datos de tiempo transcurrido con resistencia a la penetración que contenga los valores de 35 Kg/cm², y se calculará el fraguado inicial según la siguiente fórmula de interpolación lineal.

$$\text{Fraguado} - \text{inicial} = + \frac{(35 - P_1) * (t_2 - t_1)}{(P_2 - P_1)}$$

Donde t_1 y t_2 son tiempos transcurridos en minutos desde el contacto del cemento con el agua y el momento de penetración con la aguja, P_1 y P_2 son las resistencias a estos tiempos.

8. Se calcula el fraguado final según la expresión:

$$\text{Fraguado} - \text{fnal} = t_3 + \frac{(280 - P_3) * (t_4 - t_3)}{(P_4 - P_3)}$$

Anexo N° 33: Método de ensayo para medir el contenido de aire por el método de presión, según norma Covenin 348:2004.

1. Humedecer el recipiente y llenarlo con concreto hasta el tope.
2. Golpear suavemente, al menos 10 veces por los lados del molde con el martillo de caucho o barra compactadota.
3. Enrasar la superficie al nivel superior del molde, limpiar completamente los bordes del recipiente y de la tapa.
4. Ensamblar el aparato. Cerrar la válvula de aire entre la cámara de aire y el recipiente de medida. Abrir los grifos de la cubierta.
5. Inyecte agua con la pera de caucho por un grifo hasta que el líquido salga por el otro y cierre los dos grifos.
6. Bombear hasta la manecilla hasta que el manómetro quede en la línea inicial o cero.
7. Abrir la válvula de aire y espere unos segundos hasta que la aguja se estabilice.
8. Leer el porcentaje de aire en la carátula del manómetro y registre el valor.

ANEXO N° 34
Mezclas de prueba

ANEXO Nº 35

Validaciones

ANEXO Nº 36
Memoria Fotográfica

IMAGEN #37

Prensa Hidráulica para ensayos a compresión de cilindros.



IMAGEN #38

Olla y refrentador para Capping (ver anexo nº 1).



IMAGEN #39

Embudo en "V".



IMAGEN #40

Tamizadota con abertura desde 1" hasta abertura #4.



IMAGEN #41

Cuarteadora



IMAGEN #42
Moldes para Cilindros.



IMAGEN #43
Tamizadora con abertura desde $\frac{1}{2}$ " hasta #100.



IMAGEN #44

Tamices con abertura desde ½" hasta #100.



IMAGEN #45

Piscina de curado para cilindros.



IMAGEN #46

Mezcladora de tambor rotativo.



IMAGEN #47

Carretilla.



IMAGEN #48

Horno con muestras de agregado grueso y fino.



IMAGEN #49

Equipo de medición del aire ocluido.



IMAGEN #50

Balanza electrónica, carga máx. 20 kgf.

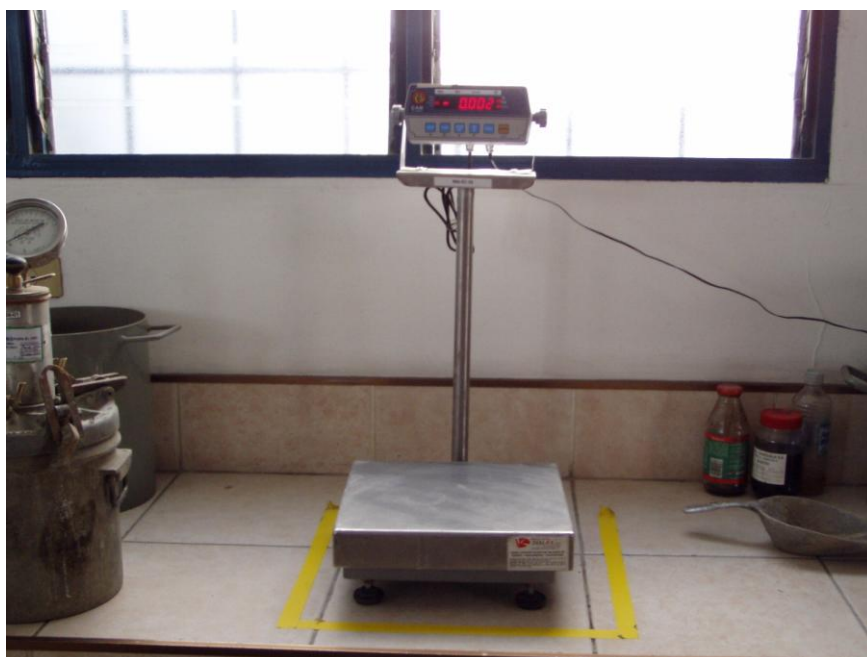


IMAGEN #51

Balanza electrónica, carga máx. 5 Kgf.



IMAGEN #52

Instrumentos para el cálculo de la humedad por medio del método del frasco de Chapman.



IMAGEN #53
Penetrómetro.



IMAGEN #54
Termohigrómetro



IMAGEN #55
Cilindros graduados.



IMAGEN #56
Casco, mascarilla y guantes para protección.



IMAGEN #57
Pesado de una muestra de 500 gr. Para realizar el ensayo de humedad.



IMAGEN #58
Acopio y recolección de agregado grueso.



ANEXO Nº 37
Análisis de Costo