

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MODULOS DE
DEFORMACIÓN DEL CONCRETO PARA EL USO DEL PAVIMENTO
RÍGIDO**

**DIANA CAROLINA BELTRAN BAUTISTA
DIEGO FERNANDO MUÑOZ ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

**FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MODULOS DE
DEFORMACIÓN DEL CONCRETO PARA EL USO DEL PAVIMENTO
RÍGIDO**

**DIANA CAROLINA BELTRAN BAUTISTA
DIEGO FERNANDO MUÑOZ ORTIZ**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:
ING. EDUARDO CASTAÑEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento:

A Eduardo Castañeda, Ingeniero Civil y Director de la Investigación, por su compromiso y colaboración.

A Holcim S.A. Bucaramanga y todo su equipo por su colaboración aportes y sus valiosas orientaciones.

A Fabio Blanco, Ingeniero Civil, Sika S.A, por su colaboración y valiosos aportes.

A Hernando, Jairo, Germán y a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron y colaboraron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	3
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	5
2. MARCO TEORICO	7
2.1. PAVIMENTO RIGIDO	7
2.1.1. Beneficios del pavimento rígido	7
2.1.2. Evaluación de pavimentos de concreto hidráulico	8
2.1.2.1. Importancia del estudio de la durabilidad	8
2.1.2.2. Parámetros de durabilidad en pavimentos de concreto hidráulico	9
2.2. MATERIALES DEL CONCRETO	10
2.2.1. Cemento Pórtland	10
2.2.1.1. Definición	10
2.2.1.2. Composición Química	10
2.2.1.3. Formación pasta cemento y reacciones de hidratación	12
2.2.1.4. Propiedades físicas y mecánicas	12
2.2.2. Agua	14
2.2.2.1. Definición	14
2.2.2.2. Agua de mezclado	14
2.2.2.3. Agua de Hidratación	14

2.2.2.4. Agua evaporable	14
2.2.2.5. Agua de curado	15
2.2.3. Agregados	15
2.2.3.1. Definición	15
2.2.3.2. Clasificación de los agregados	15
2.2.3.3. Propiedades químicas	17
2.2.3.4. Propiedades físicas	17
2.2.3.5. Propiedades mecánicas	19
2.2.3.6. Sustancias perjudiciales	20
3. CARACTERIZACION DE MATERIALES	21
3.1. CEMENTO ESPECIAL CONCRETERA PORTLAND TIPO I	21
3.1.1. Generalidades	21
3.1.2. Ensayos	22
3.2. AGREGADOS	25
3.2.1. Agregado grueso	26
3.2.1.1. Planta trituradora el Cristal	27
3.2.1.2. Planta trituradora la Esmeralda	28
3.2.1.3. Planta trituradora el Tesoro	29
3.2.1.4. Planta Avendaño-Sáenz	29
3.2.1.5. Ensayos	30
3.2.2. Agregado Fino	40
4. DISEÑO DE MEZCLAS MR-45	46
4.1. GENERALIDADES	46
4.2. CONSIDERACIONES BASICAS	47
4.3. METODOLOGIA DE DISEÑO	49
4.3.1. Selección del asentamiento	49
4.3.2. Selección del tamaño máximo del agregado	49
4.3.3. Estimación del contenido de aire	50
4.3.4. Estimación del contenido de agua de mezclado	50
4.3.5. Determinación de la resistencia de diseño	50

4.3.6. Selección de la relación agua-cemento	51
4.3.7. Calculo del contenido de cemento	51
4.3.8. Estimación de las proporciones de agregados	52
4.4. CALCULOS DE DISEÑO DE MEZCLA	52
4.5. ANALISIS ECONOMICO	62
5. SELECCIÓN DE LA MEZCLA	64
5.1. PRESELECCION DE DOSIFICACIONES	64
5.2. ENSAYOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	65
5.2.1. Descripción de los ensayos	66
5.2.2. Interpretación y análisis de resultados	68
5.2.2.1. Mezcla trituradora la Esmeralda	68
5.2.2.2. Mezcla trituradora el Cristal	72
5.2.2.3. Mezcla trituradora Avendaño-Sáenz	75
5.3. SELECCIÓN DE LA MEZCLA FINAL	78
6. AJUSTE DE LA FORMULA	80
6.1. METODOLOGIA EMPLEADA	80
6.2. ADITIVOS EMPLEADOS EN EL AJUSTE DE LA MEZCLA	81
6.2.1. Plastiment TM-5	81
6.2.2. Sika Viscocrete 1033	82
6.3. INCIDENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA MEZCLA	83
6.3.1. Mezcla con aditivo Sika Plastiment TM-5	83
6.3.2. Mezcla con Sika Plastiment TM-5 y Viscocrete 1033	86
6.4. COSTOS DE LA DOSIFICACION EMPLEADA EN EL DISEÑO FINAL	90
7. VARIACIONES VOLUMÉTRICAS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO	90
7.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CONCRETO FRESCO	91
7.2. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CONCRETO ENDURECIDO	97
7.3. RETRACCIÓN POR FRAGUADO	100
8. DISEÑO CONCRETO FAST-TRACK	102
8.1 GENERALIDADES	102

8.2	REQUISITOS PARA EL CONCRETO DE HABILITACION TEMPRANA FAST TRACK	102
8.3	CRITERIO DE HABILITACION TEMPRANA	103
8.4	ELABORACION DE LA MEZCLA FAST TRACK MR-45	104
9.	CONCLUSIONES	110
10.	RECOMENDACIONES	113
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	ANEXOS	117

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Constituyentes del cemento Pórtland	10
TABLA 2. Compuestos del cemento Pórtland	11
TABLA 3. Clasificación del agregado según su densidad	16
TABLA 4. Tiempos de fraguado para el cemento especial Tipo I Pórtland	24
TABLA 5. Resistencia de la pasta de cemento a diferentes edades	24
TABLA 6. Composición química del bagazo	32
TABLA 7. Constituyentes del cemento Pórtland	34
TABLA 8. Densidad específica y peso unitario de los agregados gruesos	36
TABLA 9. Resultados ensayo desgaste a la abrasión trituradoras	37
TABLA 10. Resultados ensayo de sanidad trituradoras	38
TABLA 11. Índice de alargamiento y aplanamiento	39
TABLA 12. Resultados ensayo de reacción álcali-sílice trituradoras	39
TABLA 13. Ensayo equivalente de arenas	43
TABLA 14. Gravedad específica y peso unitario agregados finos	44
TABLA 15. Tamaño de los agregados de acuerdo a la mezcla de diseño	54
TABLA 16. Procedimiento grafico de combinación de agregados	55
TABLA 17. Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto	56
TABLA 18. Peso ajustado y proporción en volumen suelto de los Ingredientes por metro cúbico de concreto	57
TABLA 19. Dosificaciones de las mezclas de concreto con agregados de La trituradora la Esmeralda	58
TABLA 20. Dosificaciones de las mezclas de concretos con agregados De la trituradora el Tesoro	59
TABLA 21. Dosificaciones de las mezclas de concreto con agregados De la trituradora el Cristal	60

TABLA 22. Dosificaciones de las mezclas de concreto con agregados De la trituradora Avendaño-Sáenz	61
TABLA 23. Precios de agregado grueso	62
TABLA 24. Precios de agregado fino	62
TABLA 25. Costo De concreto por metro cúbico	62
TABLA 26. Diseño de mezclas seleccionadas	64
TABLA 27. Ensayo de Flexión y resultados de módulos de elasticidad Mezcla trituradora La Esmeralda	70
TABLA 28. Ensayo de Flexión y resultados de módulos de elasticidad Mezcla trituradora El Cristal	73
TABLA 29. Ensayo de Flexión y resultados de módulos de elasticidad Mezcla trituradora Avendaño-Sáenz	76
TABLA 30. Resistencia de la pasta de cemento	80
TABLA 31. Dosificación de componentes de la mezcla P2	83
TABLA 32. Ensayo de flexión y módulos de elasticidad mezcla Avendaño Sáenz con y sin aditivo	84
TABLA 33. Dosificación de componentes de la mezcla P2 ajustada	86
TABLA 34. Incidencia de aditivos en los tiempos de fraguado	87
TABLA 35. Combinación de aditivos en las mezclas e incidencia sobre El modulo de rotura y los tiempos de fraguado	88
TABLA 36. Costos mezcla final	90
TABLA 37. Mezclas usadas en el ensayo de temperatura	92
TABLA 38. Lecturas de temperatura en viguetas	93
TABLA 39. Resultados ensayo a flexión en viguetas curadas en diferentes condiciones	95
TABLA 40. Resultados ensayo de dilatación térmica	99
TABLA 41. Retracción durante el proceso de fraguado	100
TABLA 42. Comparación resultados por unidad de longitud de la retracción Y dilatación térmica	101
TABLA 43. Dosificación de componentes de las mezclas Fast Track	105

TABLA 44. Incidencia en los tiempos de fraguado	106
TABLA 45. Combinación de aditivos en las mezclas Fast Track e incidencia sobre el modulo de rotura y tiempos de fraguado	107
TABLA 46. Costos mezcla Fast Track	109

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Grafica de Resistencia a compresión del cemento especial	25
FIGURA 2. Grafica curva granulométrica trituradora El Cristal tamaño aparente 1½”	31
FIGURA 3. Grafica curva granulométrica trituradora El Cristal tamaño aparente 1”	31
FIGURA 4. Grafica curva granulométrica trituradora El Cristal tamaño aparente ¾”	31
FIGURA 5. Grafica curva granulométrica trituradora La Esmeralda tamaño aparente 1½ ”	32
FIGURA 6. Grafica curva granulométrica trituradora La Esmeralda tamaño aparente 1”	32
FIGURA 7. Grafica curva granulométrica trituradora La Esmeralda tamaño aparente ¾”	32
FIGURA 8. Grafica curva granulométrica trituradora El Tesoro tamaño aparente 1”	33
FIGURA 9. Grafica curva granulométrica trituradora El Tesoro tamaño aparente ¾”	33
FIGURA 10. Grafica curva granulométrica trituradora Avendaño-Sáenz tamaño aparente 1”	33
FIGURA 11. Grafica curva granulométrica trituradora Avendaño-Saenz tamaño aparente ¾”	34
FIGURA 12. Grafica curva granulométrica arena de Girón	41
FIGURA 13. Grafica curva granulométrica arena de Bocas, muestra #1	41
FIGURA 14. Grafica curva granulométrica arena de Bocas, muestra #2	42
FIGURA 15. Grafica curva granulométrica arena de Pescadero	42

FIGURA 16. Grafica resistencia a la flexión mezclas trituradora La Esmeralda	71
FIGURA 17. Grafica resistencia a la flexión mezclas trituradora El Cristal	74
FIGURA 18. Grafica resistencia a la flexión mezclas trituradora Avendaño-Sáenz	77
FIGURA 19. Grafica resultados resistencia a flexión mezclas Preseleccionadas	78
FIGURA 20. Grafica resultados de trabajabilidad en las mezclas Preseleccionadas	79
FIGURA 21. Grafica costos por metro cúbico mezclas preseleccionadas	79
FIGURA 22. Grafica resistencia a la flexión mezcla P2 con y sin aditivo	85
FIGURA 23. Grafica efecto de los aditivos en la resistencia de las mezclas	89
FIGURA 24. Esquema de la evaporación, trayectoria del sangrado, grietas y los esfuerzos que se producen en la contracción plástica	91
FIGURA 25. Grafica temperaturas medidas con termocuplas	94
FIGURA 26. Grafica resistencia flexión en viguetas curadas en diferentes Condiciones	96
FIGURA 27. Grafica comparación de porcentaje de combinación De agregados por el método de Fuller-Thompson	105

LISTA DE FOTOS

FOTO 1. Planta de mezclados Holcim	21
FOTO 2. Aparato de Vicat	23
FOTO 3. Material explotado	26
FOTO 4. Trituradora El Cristal	27
FOTO 5. Agregado $\frac{3}{4}$ " trituradora el Cristal	28
FOTO 6. Trituradora La Esmeralda	28
FOTO 7. Trituradora El Tesoro	29
FOTO 8. Proceso de gradación agregado grueso	30
FOTO 9. Fuente Río de Oro, arena Girón	40
FOTO 10. Ensayo de materia orgánica en las muestras de arena	44
FOTO 11. Mezcladora mecánica	48
FOTO 12. Ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams	66
FOTO 13. Medida del asentamiento	66
FOTO 14. Ensayo a flexion	67
FOTO 15. Falla de la vigueta en el tercio medio	67
FOTO 16. Mezcla E1	68
FOTO 17. Mezcla E2	68
FOTO 18. Mezcla E3	68
FOTO 19. Apariencia vigas mezcla E3 trituradora La Esmeralda	69
FOTO 20. Mezcla C1	72
FOTO 21. Mezcla C2	72
FOTO 22. Mezcla C3	72
FOTO 23. Mezcla P1	75
FOTO 24. Mezcla P2	75
FOTO 25. Mezcla P2 sin aditivo	84

FOTO 26. Mezcla P2 con aditivo	84
FOTO 27. Viguetas cuarto frío	92
FOTO 28. Viguetas intemperie	92
FOTO 29. Viguetas intemperie protegida con manto	92
FOTO 30. Medida inicial de temperatura y deformación	98
FOTO 31. Calentamiento de la probeta al horno	98
FOTO 32. Medida final de deformación en la probeta	99
FOTO 33. Mezcla 1	105
FOTO 34. Mezcla 2	105
FOTO 35. Asentamiento mezcla 1	105
FOTO 36. Asentamiento mezcla 2	105

ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYOS AGREGADO GRUESO

ANEXO 2. ENSAYOS AGREGADO FINO

ANEXO 3. METODO GRAFICO PARA COMBINACION DE AGREGADOS

ANEXO 4. DISEÑO DE MEZCLAS PRESELECCIONADAS

RESUMEN

TÍTULO: FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MÓDULOS DE DEFORMACIÓN DEL CONCRETO PARA USO EN PAVIMENTO RÍGIDO.*

AUTORES: DIANA CAROLINA BELTRÁN BAUTISTA**
DIEGO FERNANDO MUÑOZ ORTIZ**

PALABRAS CLAVES: Diseño mezclas, Caracterización Materiales, Agregados Santander, Mezclas MR45, Variaciones Volumétricas, Dilatación térmica, Fast Track, Retracción Fraguado.

DESCRIPCIÓN: El uso de pavimentos rígidos constituye una opción para el desarrollo de proyectos viales que se ha venido empleando desde hace mucho tiempo, y actualmente se conocen como las estructuras de mayor duración con excelente índice de servicio y óptimos niveles de conservación debido a su bajo costo de operación. Esto trae como consecuencia que se utilicen cada vez más los pavimentos de concreto rígido, para lo cual se deben diseñar mezclas de acuerdo a los requerimientos del proyecto; pero las especificaciones de diseño y construcción que se aplican en nuestro medio no consideran por lo general la acción del ambiente ni los tipos de agregados que existen en la región y sus propiedades y características que con el tiempo pueden afectar su durabilidad y desempeño. Ya que el conocimiento de las propiedades de los materiales empleados en cada región resulta fundamental en el diseño de mezclas, se deben realizar estudios de caracterización de materiales que determinen si son aptos para ser empleados en este tipo de obras y los que se consideren potencialmente reactivos. Los cambios volumétricos que experimentan las estructuras de concreto debido a la acción de la temperatura y el medio ambiente se deben controlar para garantizar la calidad del pavimento y elaborar el diseño de las juntas de las estructuras. La importancia de obtener estructuras de concreto de resistencia estable, de durabilidad óptima y al más bajo costo en los proyectos de construcción, conlleva al diseño de nuevas mezclas que cumplan con los requerimientos de la obra, por lo que se proponen diseños de habilitación temprana.

* Trabajo de investigación

** Facultad de Ciencias Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Eduardo Castañeda

SUMMARY

TITLE: FORMULATION AND CHARACTERIZATION OF THE MODULES OF DEFORMATION OF THE CONCRETE FOR THE USE IN RIGID PAVEMENT.*

AUTHORS: DIANA CAROLINA BELTRAN BAUTISTA **
DIEGO FERNANDO MUÑOZ ORTIZ **

KEY WORDS: Design Mixtures, Characterization, Santander Aggregates, Mixtures MR45, Volumetric Variations, Thermal Expansion, Fast Track, Forged Retraction.

DESCRIPTION: The use of rigid pavements constitutes an option for the development of road projects that has come using for a long time, and at the moment offers optimal levels of conservation and are known like the structures of greater duration with excellent index on watch and low cost of operation.

This brings like consequence that the rigid pavements are used every time, it must to design mixtures according to the requirements of the project; but the specifications of design and construction that are applied in our country do not consider generally the action of the atmosphere, the types of aggregates of the region and its properties and characteristics that with time can affect their durability and performance.

Since the knowledge of the properties of the materials used in each region is fundamental in the design of mixtures, it must to study the materials characterization that determine if they are apt to be used in this type of works and those that are considered potentially reactive.

The volumetric changes that experience the concrete structures by the action of the temperature and the environment it must to be control to guarantee the quality of the pavement and to elaborate the design of the joints structures.

The importance of obtaining concrete structures of stable resistance, optimal durability and to the lowest cost in the construction projects, entails to the design of new mixtures that fulfill the requirements of the work, that was the reason to propose fast track mixtures.

* Work of investigation

** Faculty of Fisicomecánicas Sciences, School of Civil Engineering, Ing. Eduardo Castañeda

INTRODUCCIÓN

La globalización de la economía y la internacionalización de los mercados han obligado al país a mejorar significativamente su red de vías urbanas y carreteras. Es donde surge la necesidad de avanzar en el conocimiento de la utilización de los pavimentos rígidos y de cómo implementarlos en nuestro medio. De igual manera surge la necesidad de que esa red vial se mantenga estable durante la mayor cantidad de tiempo, con un excelente índice de servicio y un bajo costo de operación.

Los pavimentos de concreto hidráulico se han venido usando a nivel mundial desde hace mucho tiempo, la alternativa de proyección y construcción se han transformado a medida que los tiempo evolucionan; el conocimiento en los materiales óptimos, la gran escalada de la ingeniería civil acompañada del entendimiento de las teorías de la mecánica de suelos y materiales, encaminan el mejor comportamiento de los pavimentos que se construyen con cemento como material prima en sus mezclas; todas estas combinaciones consolidaron los pavimentos de concreto hidráulico como las estructuras de mayor duración y con buenos niveles de conservación y óptimos niveles de inversión medidos a largo plazo.

Colombia no ha sido ajeno a esta evolución, conocemos en la capital pavimentos de concreto hidráulico de mas de 40 años de operación, a nivel nacional redes completas de las mallas viales y urbanas, mientras que en Bucaramanga es mínima la cantidad de obras que se han ejecutado con este tipo de pavimentos, por qué no implementar estas nuevas tecnologías donde las redes viales cubiertas con pavimentos flexibles, en su mayoría presentan un deterioro moderado el cual

ha obligado a realizar rehabilitaciones con diversas técnicas en las que muchas por condiciones presupuestales, no son las más adecuadas para su reivindicación estructural. Es entonces cuando se concibe la idea de que la implementación de un pavimento de concreto va más allá de la simple construcción y diseño de losas, en realidad hay que alcanzar el estado del arte del conocimiento en las actividades de diseño de mezclas, utilizando y comparando diversos materiales de la zona e implementando aditivos que mejoren las propiedades y permitan elegir una adecuada opción que mejor se adecue a las circunstancias propias del proyecto, para obtener una satisfacción en la función de la optimización del pavimento.

En este orden de ideas, el pavimento de concreto surge como una alternativa viable tanto técnica como económica, que sumado a su historial de calidad y durabilidad, se suman los últimos desarrollos en tecnologías de construcción y rehabilitación, equipos de colocación y herramientas de acabado superficial, entre otros.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 General

Determinar las características de mezclas de concreto hidráulico con materiales locales, para su empleo en la construcción de pavimentos rígidos.

1.1.2 Específicos

- Estimar la influencia de las características intrínsecas de los agregados de las diferentes fuentes de explotación y su respectiva dosificación sobre el diseño de la mezcla MR-45
- Evaluar el mejor comportamiento de la mezcla MR-45 a partir de la dosificación determinada, empleando materiales de las principales fuentes de explotación de agregados del departamento de Santander.
- Analizar las propiedades mecánicas de cada una de las mezclas evaluadas como modulo de elasticidad, resistencia y manejabilidad, elaborando un paralelo que permita visualizar la mejor opción en cuanto a costos y rendimiento.
- Realizar el estudio de la factibilidad implementando la aplicación de aditivos acelerantes del fraguado como el Fast-Track y la incidencia en el comportamiento final de la mezcla.

- Estudiar el efecto de la dilatación térmica para las mezclas desarrolladas teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la ciudad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los últimos años, la red vial del país se ha ido modernizando. Como consecuencia de ello, se utilizan cada vez más los pavimentos de concreto rígido. Sin embargo, las especificaciones de diseño y construcción que se aplican no contemplan, por lo general, los tipos de agregados que existen en la región y sus características intrínsecas que podrían afectar su durabilidad, ni consideran la acción del ambiente sobre los pavimentos.

Resulta fundamental en el diseño de mezclas de concreto el conocimiento de las propiedades de los materiales empleados en cada región para la construcción de pavimentos rígidos, para lo cual se deben realizar estudios de caracterización de materiales que determinen si son aptos para ser empleados en este tipo de obras y los que se considere potencialmente reactivos. La calidad de un concreto es un factor determinante en la seguridad de una estructura de pavimento, pero esta no se obtiene únicamente con un correcto diseño de mezcla, un eficiente mezclado y colocación, porque aún cumpliendo con estos, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia de un concreto hecho bajo un mismo diseño, ya que la explotación de gravas y bancos de arena en nuestro país se lleva a cabo con un mínimo y a veces ningún control de calidad, no se asegura que el material obtenido cumpla con los requisitos de las Normas técnicas empleadas en nuestro medio.

La caracterización de los materiales que se encuentran en nuestro medio, así como la formulación de nuevas dosificaciones en el diseño de concretos para pavimentos rígidos y el estudio de sus módulos de deformación constituyen el

punto de partida de este estudio que busca contribuir a la solución de un problema tan importante de la infraestructura vial.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La importancia de obtener concreto de resistencia estable, de durabilidad óptima y al más bajo costo en los proyectos de construcción, es la razón principal del enfoque de éste estudio; debido a que estos aspectos son los que idealmente deben cumplir los productores de concreto.

Este proyecto permitirá predecir teóricamente los efectos que sufre el concreto con cada alteración de las características de los agregados explotados por las fuentes seleccionadas, ya que el comportamiento del concreto hidráulico se ve afectado entre otros aspectos, por el control de calidad que verifique las variaciones tales como: tamaño del agregado, sanidad, contenido de orgánicos, entre otros, de las arenas y gravas; y los malos procesos de extracción o manufacturación en las trituradoras de grava y bancos de arena más importantes usadas en el área Metropolitana.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Basados en la normas NTC, se evaluarán la calidad de los agregados para concreto, a través de un estudio, con el que se pretende determinar si estos materiales se mantienen dentro de los límites aceptables, así como la influencia de las variaciones en estos índices de calidad y plantear a nivel de diagnóstico, las causas y los efectos que estos pueden generar en las propiedades del concreto, permitiendo realizar ajustes en su diseño y elaboración.

El desarrollo de este proyecto se inicia a partir de la búsqueda y obtención de la información pertinente que involucra el diseño de mezclas, así como los procedimientos establecidos para la elaboración de pruebas que nos permitan obtener las características intrínsecas de cada uno de los materiales empleados, en este paso, se buscará que cada uno de los diseños de mezclas propuestos cumpla con las especificaciones. El análisis de la factibilidad de adicionar aditivos se empleará para determinar la incidencia sobre cada diseño y los efectos de la dilatación térmica para las condiciones climáticas de nuestra ciudad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTO RÍGIDO

2.1.1 Beneficios del Pavimento Rígido

- *Mantenimiento*

Cada año, en nuestro país se gastan grandes sumas de dinero en el mantenimiento de la red vial. Con un pavimento de concreto, el mantenimiento de una red vial se reduce enormemente. Se diseña un pavimento rígido empleando principios de ingeniería bien establecidos para soportar el tránsito esperado durante 20 o 30 años. Los requisitos de mantenimiento son mínimos, porque el pavimento es rígido, lo que elimina la formación de baches y depresiones. Además, cuando se utiliza concreto, se eliminan completamente las cubiertas costosas, destructivas y que consumen mucho tiempo, típicamente necesarias cada cuatro a siete años para las áreas de pavimento de asfalto.

- *Apariencia*

Al usar el concreto como un material de pavimentación, se proporciona área de estacionamiento limpia y atractiva. El pavimento de concreto da la impresión de resistencia y permanencia; esto es una ventaja sutil pero muy real, además, el concreto proporciona flexibilidad sin límite en la apariencia.

- *Seguridad*

El pavimento de concreto se construye fácilmente con una superficie rugosa. Esto incrementa la resistencia a derrapes, haciéndolo con ello más seguro para el tránsito vehicular y peatonal.

- *Alumbrado*

Cuando se observa una red vial en concreto en la noche, se nota inmediatamente que aparece mucho más brillante, como resultado del color y la reflectividad del material. Además, a fin de hacer el área más segura para el usuario, la reflectividad agregada se transforma en ahorros significativos de energía. Puesto que refleja la luz, la red vial de concreto requiere menos dispositivos de iluminación para proporcionar un grado satisfactorio de brillantez.

- *Costo*

En los últimos 20 años el costo de los materiales de pavimento bituminoso se ha incrementado en más de 600 por ciento. Esto significa que en el mercado actual, el costo inicial de los pavimentos de concreto es menor que los pavimentos asfálticos. Las cifras anteriores indican que el concreto es competitivo con base en los costos primarios, pero no solamente se deben examinar el primer costo, sino también los que le siguen durante la vida del pavimento. Para hacer esto, se debe considerar el costo del mantenimiento rutinario que incluye, por ejemplo, las capas de sellado con asfalto periódicas, el costo de una sobrecapa de asfalto necesario, en cuatro o cinco años, y el costo de iluminación.

2.1.2 Evaluación de Pavimentos de Concreto Hidráulico

2.1.2.1 Importancia del estudio de la durabilidad

El deterioro sufrido por algunos de los pavimentos construidos en Bucaramanga ha sido excesivo, y las deficiencias se han atribuido a fallas en el diseño, control de calidad, escasa capacitación del personal dedicado a la construcción de este tipo de pavimentos, lo cual ha inducido defectos en el proceso constructivo, influencia de la temperatura, sistemas de juntas deficientes, curado y texturizado escaso o no uniforme, entre otras. La atribución de fallas se ha basado muchas

veces en experiencias y conocimientos empíricos, sin que se haya desarrollado una metodología detallada que permita dictar recomendaciones tendientes a aumentar la durabilidad en los pavimentos de concreto sobre la base de la detección de las causas reales de los problemas observados.

Algunos de los principales problemas de durabilidad relacionados con los materiales de concreto son la dureza, resistencia a la reactividad alcalina y la resistencia a la abrasión. Para controlar la reactividad álcali sílice, habrá que especificar la selección de la cantera de agregados y el uso de un cemento Pórtland bajo en álcalis. Para asegurar un concreto resistente a la abrasión se tendrá que evaluar la calidad de los agregados finos y gruesos ante esta propiedad. De igual manera, deben tomarse precauciones especiales para minimizar el ingreso de sales y gases al concreto que afecten su durabilidad. Lo anterior sólo será posible cuando se logre conocer las propiedades físicas y químicas de nuestros materiales y se emitan metodologías y reglamentos de acuerdo con nuestras condiciones climáticas y orográficas.

2.1.2.2 Parámetros de durabilidad en pavimentos de concreto hidráulico

La durabilidad del concreto empleado para la construcción de pavimentos debe estudiarse en función de la influencia que en ella ejercen:

- los *materiales* constituyentes del concreto,
- los *procesos de construcción* a los que se somete el concreto,
- las *propiedades químicas y físicas* del concreto,
- los *tipos de carga*
- la naturaleza del *ambiente* al que es expuesto el pavimento.

Asimismo debe analizarse la degradación que sufre al ser expuesto a:

- procesos de congelación y descongelación,
- efecto de elevados gradientes de temperatura y fuertes oscilaciones de la humedad relativa

2.2 MATERIALES DEL CONCRETO

2.2.1 Cemento Pórtland

2.2.1.1 Definición

El principal componente del concreto es el cemento Pórtland, el cual ocupa entre el 7% y el 15 % del volumen de la mezcla. Es un material con propiedades cohesivas y adhesivas que tiene la capacidad de unir fragmentos sólidos, formando una masa compacta, resistente y durable; tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química llamado hidratación, es por esto que reciben el nombre de cementos hidráulicos.

2.2.1.2 Composición química

El cemento Pórtland esta compuesto principalmente por dos materiales minerales, los calcáreos como la caliza, y los arcillosos tales como la sílice y alumina, en algunas ocasiones se usa el oxido de hierro u otros materiales con el fin de mejorar las propiedades químicas de los compuestos principales.

En la tabla 1 se presentan los límites aproximados de los óxidos presentes en el cemento Pórtland.

TABLA 1. Constituyentes del cemento Pórtland.

NOMBRE	SÍMBOLO QUÍMICO	ABREVIATURA	PORCENTAJE
Oxido de calcio	CaO	C	60-67
Dióxido de silicio	SiO ₂	S	17-25
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃	A	3-8
Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃	F	0.5-6
Oxido de magnesio	MgO	M	0.1-4
Álcalis			0.2-1.3
Tritóxido de azufre	SO ₃	s	1-3

Se entiende como química del cemento la reacción entre las materias primas principales anteriormente nombradas equilibrándose químicamente para formar los cuatro componentes fundamentales que se presentan en la tabla 2.

TABLA 2. Compuestos del cemento Pórtland.

NOMBRE	COMPOSICIÓN DEL ÓXIDO	ABREVIATURA	%
Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S	20-70
Silicato bicálcico	2CaOSiO_2	C_2S	5-50
Aluminato tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A	1-15
Ferroaluminato tetracalcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF	1-17

Estos compuestos se forman cuando alcanzan una temperatura que convierte la mezcla cruda en pastosa y al enfriarse se forman cristales compuestos de las sustancias anteriormente mencionadas y rodeadas por un material que contiene C_4AF y otros secundarios.

- *La Fase Alita (C_3S)* es uno de los componentes mas importantes del clinker ya que establece características tales como la resistencia y tiene gran influencia en el tiempo de fraguado y resistencia inicial.
- *La Fase Belita (C_2S)* es el segundo componente mas importante del clinker, y su contribución en la resistencia se nota después de la primera semana.
- *La Fase Aluminato (C_3A)* contribuye a una alta resistencia inicial con un alto calor de hidratación, cambios volumétricos y resistencia pobre a los sulfatos; su contenido es limitado según el tipo de cemento.
- *La Fase ferrito (C_4AF)* en esta fase se disminuye la temperatura de clinkerización.

2.2.1.3 Formación pasta cemento y reacciones de hidratación

La pasta de cemento se forma a partir de las reacciones químicas del cemento en contacto con el agua, dando origen a dos compuestos: uno son cristales hidratados que van creciendo lentamente y el segundo es un gel inicialmente inestable por poseer un alto contenido de agua. Para poderse desarrollar los cristales, estos toman el agua del gel convirtiéndolo en un gel estable responsable en gran parte de las propiedades mecánicas de la pasta endurecida.

En la pasta de cemento ya endurecida, el gel forma uniones enlazadas entre los cristales y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; adhiriéndose a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del endurecimiento y del desarrollo de resistencia.

Se puede decir que hasta los 3 primeros días, el desarrollo de la resistencia se debe a la hidratación del C_3S y del C_3A ; hasta los 7 días corresponde por el aumento de hidratación del C_3S , hasta los 28 días, el incremento se debe principalmente al C_3S con una pequeña contribución del C_2S , y después de los 28 días el incremento se debe a la hidratación del C_2S .

2.2.1.4 Propiedades físicas y mecánicas

- Consistencia Normal: Es una característica complementaria de otros ensayos como son la determinación de tiempos de fraguado y estabilidad del volumen. Determina la cantidad de agua necesaria que se le debe agregar al cemento, para que la pasta tenga una fluidez apropiada.
- Peso Especifico: Es la misma densidad y es la relación entre masa de una cantidad y su respectivo volumen. Su valor varía muy poco de acuerdo a las adiciones que se le hacen. Cuando no hay adiciones es decir un cemento

Pórtland normal su valor comprende entre 3.10 y 3.15 g/cm³ y en el caso de cementos con adiciones su valor se encuentra entre 3.00 y 3.10 g/cm³ dependiendo del porcentaje de adiciones que tenga el cemento. Su función principal radica en el diseño y control de mezclas ya que se diseña por peso, para un volumen unitario de concreto.

- *Fraguado del Cemento* : Es el cambio de fase en una pasta de cemento de estado plástico a endurecido. En una mezcla de cemento y agua inicialmente se forma una pasta plástica que a medida que transcurre el tiempo va perdiendo su agua hasta llegar a perder su viscosidad elevando su temperatura; este tiempo transcurrido desde la adición del agua se considera *tiempo de fraguado inicial*, e indica que el cemento esta parcialmente hidratado y la pasta semidura. Después de este tiempo la pasta continua fraguando hasta que alcanza un estado en el cual no se deforma ante cargas relativamente pequeñas, volviéndose rígida y alcanzando el máximo de temperatura, el tiempo transcurrido desde la mezcla con agua se denomina *tiempo de fraguado final*, indicando que el cemento esta mas hidratado y la pasta dura. A partir de este momento se inicia el proceso de endurecimiento de la pasta y la estructura del cemento fraguado adquiere resistencia mecánica.
- *Superficie Específica*: Se refiere a la finura del cemento considerada como una de las principales características, ya que esta ligado a su valor hidráulico. La medida de la finura se expresa por área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material y se mide en cm²/g.
- *Resistencia Mecánica*: Es la propiedad del material mas obvia en cuanto a requisitos para usos estructurales. Se mide sobre probetas de mortero como solución entre la pasta y el concreto.

2.2.2 AGUA

2.2.2.1 Definición

El agua ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla, es el componente con el cual el cemento reacciona químicamente dándole propiedades de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.

Es importante tener en cuenta que para cada cuantía de cemento, existe una cantidad suficiente para producir la hidratación, el resto aplicado a la mezcla solo se encarga de aumentar la fluidez y dar la manejabilidad adecuada a la mezcla fresca.

El agua en el cemento no solo se determina por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la retracción, adherencia, durabilidad y propiedades para el acabado.

2.2.2.2 Agua de mezclado

Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto necesaria para que el cemento produzca una pasta hidratada con una fluidez tal, que permita lubricar a los agregados cuando la mezcla se encuentre en estado plástico.

2.2.2.3 Agua de hidratación

Es la parte del agua de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para formar parte de la fase sólida del gel, es conocida como agua no evaporable.

2.2.2.4 Agua evaporable

Es el agua restante de la de mezclado que se encuentra en la pasta. El gel de cemento ejerce una atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída. De acuerdo con su proximidad con la superficie se encuentra en tres condiciones:

- Agua de Absorción: Es una capa de agua que se encuentra adherida a la superficie del gel por fuerzas intermoleculares de atracción.
- Agua Capilar: Es al que ocupa los poros capilares de la pasta.
- Agua Libre: Esta agua se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie causadas por el gel, teniendo una completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

2.2.2.5 Agua de curado

Es el agua adicional para hidratar eficientemente el cemento para alcanzar las condiciones necesarias para que las propiedades potenciales del concreto se desarrollen, estas condiciones son la temperatura y los cambios de humedad del material.

2.2.3 AGREGADOS

2.2.3.1 Definición

Son materiales naturales o artificiales de forma granular, aglomerados por el cemento y el agua conformando un material compacto conocido como concreto u hormigón, ocupan entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla.

Estos componentes actúan como un material de relleno, haciendo la mezcla mas económica y combinados con la pasta fraguada proporcionan resistencia a la mezcla ya que estos poseen una resistencia propia. Durante el proceso de fraguado, los agregados se encargan de controlar los cambios volumétricos para evitar los agrietamientos por la retracción plástica.

2.2.3.2 Clasificación de los agregados

- Según su tamaño se clasifican en : *arena*, llamada así a la fracción mas fina del material cuyo diámetro es inferior a 4,76 mm y no menor a 0.074 mm, y la

fracción mas gruesa se denomina *agregado grueso o grava* cuyo diámetro es superior a 4.76 mm.

- Según su procedencia se clasifican en:
 - *Agregados naturales*, son aquellos que se explotan de fuentes naturales como depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o de glaciares (cantos rodados) y de canteras de rocas o piedras naturales. Se puede usar su granulometría natural o triturándola de acuerdo a las especificaciones requeridas.
 - *Agregados artificiales*, Se obtiene a partir de procesos y productos industriales tales como la escoria de alto horno, clinker, arcillas expandidas, limaduras de hierro entre otros.

- Según su densidad; depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de poros. Esta característica es muy importante ya que afecta la densidad del concreto.

TABLA 3. Clasificación del agregado según su densidad

Peso unitario del agregado Kg/m³	Peso unitario aprox. Del concreto Kg/m³	Tipo de concreto	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
60-480	400-800		Concretos para aislamientos	Piedra pómez
480-1040	950-1350	Ligero	Concreto para rellenos y mampostería no estructural	Perlita
	1450-2000		Concreto Estructural	
1300-1600	2000-2500	Normal	Concreto estructural y no estructural	Canto rodado Agregados de río
3400-7500	2500-5600	Pesado	Concreto para protección contra radiación gamma, X y contrapresas	Piedra barita, magnetita

2.2.3.3 Propiedades químicas

- Reacción agregado-álcali

Existen reacciones que generan expansiones dentro del concreto induciendo los esfuerzos de tensión llevando a afectar el estado de la estructura, ya que la resistencia del concreto a la tensión es muy baja.

La reacción álcali-sílice es la reacción mas común y se produce entre los oxido de silicio SiO_2 y los hidróxidos alcalinos de la pasta de cemento Na_2O y K_2O , esta reacción produce un gel hinchable que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, estimulando fuerzas internas en el concreto que producen agrietamiento, expansión y ruptura de la pasta de cemento.

Otra reacción que se presenta entre los componentes del agregado y el cemento es la reacción álcalis-carbonato que se da en algunos tipos de caliza dolomita y el álcalis del cemento, esta reacción no es tan frecuente, pero es importante nombrarla.

2.2.3.4 Propiedades físicas

- Granulometría

La granulometría de un material muestra la distribución de los tamaños de las partículas que lo conforman; por medio de un grafico se puede conocer que tan grueso o fino puede ser el material, así como tan bien sus deficiencias o excesos de un tamaño. Todas estas características se determina mediante el análisis granulométrico del cual se derivan factores importantes útiles para el diseño de una mezcla, tales como:

- *Modulo de finura*: Evalúa al grado de finura de la arena o agregado fino.

- *Tamaño máximo*: Es el tamaño de la partícula mas grande dentro de una masa, y se indica como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material.
- *Tamaño máximo nominal* : Es el tamaño promedio de partícula mas grandes dentro de una masa de agregados, se indica como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea 15% o mas.

- *Forma*

La compactación del concreto depende de la granulometría de los agregados y del grado de acomodamiento de estos dentro de la masa. Se debe alcanzar un alto grado de acomodación y compactación, para generar una alta densidad y por consiguiente una mayor resistencia. Las formas mas convenientes usadas en el diseño de un concreto son las redondeadas para piedras de ríos y cantos rodados y las cúbicas para las trituradas, ya que estas logran un mejor acomodamiento dentro de la pasta y por lo tanto no quedaran espacios entre partículas que deban ser llenados con pasta de cemento y así encarecer la mezcla o producir agrietamientos por el mayor contenido de cemento.

- *Gravedad Específica Real (Densidad Nominal)*

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua.

- *Gravedad Específica Aparente (Densidad Aparente)*

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre partículas) y la masa de un volumen igual de agua.

Esta es la densidad mas utilizada ya que esta determina la cantidad de agregado requerida en el concreto porque los poros interiores de los agregados ocuparan un volumen dentro de la masa y el agua que se encuentra en los poros saturables no hace parte del agua de mezclado.

- Gravedad Específica Aparente SSS (Densidad Aparente SSS)

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, (después de la inmersión en agua durante aproximadamente 24 horas), pero sin incluir los vacíos entre partículas, comparado con la masa de un volumen igual de agua.

- Porosidad y absorción

Una partícula porosa es menos dura que una compacta o maciza, y es una característica muy importante en el agregado ya que afecta las propiedades mecánicas como la adherencia, la resistencia a la flexión y compresión, durabilidad, resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión.

- Masa Unitaria

Es la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta por varias partículas y el volumen que ocupan estas en un recipiente de volumen conocido. Existen dos tipos de masa unitaria la compacta y la suelta; la primera muestra el grado de acomodamiento del agregado cuando se somete a la vibración aumentando la masa unitaria, y la segunda es cuando el agregado se encuentra en estado normal de reposo ocupando un mayor volumen y por lo tanto una menor masa unitaria.

2.2.3.5 Propiedades mecánicas

- Resistencia de las partículas del agregado

Es muy importante analizar la resistencia de los agregados dentro de la mezcla de concreto ya que la falla del concreto está regida por la resistencia de los agregados, la pasta y la adherencia entre ellos. Cuando los agregados son de peso normal, es decir de baja porosidad, estos tienen resistencia superior a la de la pasta de cemento endurecida, por lo cual la resistencia a la compresión del concreto no se ve afectado por la resistencia del agregado; pero cuando la

resistencia del agregado no es la adecuada es probable que esos fallen antes que la pasta de cemento endurecida.

- Adherencia

Es la interacción entre los agregados y la pasta de cemento durante los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto. Esta adherencia se da por las fuerzas físico-químicas entre las partículas del agregado y la pasta. Cuando se trata de la resistencia a flexión una buena adherencia depende de la calidad de la pasta del cemento y la forma, tamaño, rigidez y textura de los agregados.

- Dureza

Es una propiedad que depende de la constitución mineralógica, estructura y procedencia de los agregados. Esta propiedad se mide por medio del ensayo de la maquina de los Ángeles.

2.2.3.6 Sustancias perjudiciales

- Materia Orgánica

Es importante realiza el ensayo de materia orgánica en los agregados ya que pueden contener sustancias que pueden afectar el concreto, especialmente durante las reacciones de hidratación en el proceso de fraguado.

- Sanidad de los agregados

Se refiere a la capacidad para soportar los cambios excesivos de volumen debido a los cambios térmicos como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado, los cuales afectan la durabilidad, apariencia y estabilidad de la estructura.

3. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Resulta fundamental en los análisis de durabilidad, manejabilidad y resistencia del concreto el conocimiento de las propiedades de cada uno de los materiales empleados para la construcción de pavimentos rígidos, por lo cual se realizan estudios de caracterización mediante ensayos para determinar el mejor comportamiento de estos en la mezcla. El desarrollo de esta caracterización ayuda a evaluar económicamente los costos de producción del concreto para pavimento rígido, y éstos variarán de una región a otra debido a la disponibilidad de materiales locales de calidad.

3.1 CEMENTO ESPECIAL CONCRETERA PORTLAND TIPO I

3.1.1 Generalidades

FOTO 1. Planta de mezclados Holcim.



El cemento usado para este proyecto es cemento Boyacá Pórtland tipo I, se produce con materias primas de alta calidad mediante la molienda conjunta del

clinker, yeso (como regulador del fraguado) y adiciones activas. Es un producto desarrollado especialmente para la industria del concreto industrializado, su composición hace que la resistencia a la compresión aumente después de los 28 días. El cemento especial se comercializa a granel en contenedores con capacidad de carga entre 30 y 35 toneladas. Algunas de las ventajas de este tipo de cemento son:

- Incremento en las resistencias finales aun después de los 28 días
- Resistencia alta a todas las edades
- Color más claro
- Mejores tiempos de fraguado que permite un manejo adecuado (transporte, colocación, afinado y compactación) sin que se presente una pérdida de movilidad prematura.
- Menor propensión a la reacción álcali-agregado.
- Reducción de la debilidad causada por la presencia de cal libre y MgO.
- Mayor durabilidad derivada de una mejor manejabilidad y de mezclas densas.

3.1.2 Ensayos

- Consistencia normal: El ensayo se realiza según la norma NTC 110 y se mide por medio del aparato de Vicat, ilustrado en la foto 2. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando la penetración es de 10 ± 1 mm en 30 segundos después de haber sido soltada.

Aunque este ensayo no es necesario para el control de calidad del cemento y no se consideran especificaciones donde se expresen valores mínimos o máximos para medir esta característica, si es un ensayo que se tiene en cuenta para realizar otros que si tienen relación directa con la calidad del cemento.

Después de realizar el ensayo se obtuvo una consistencia de **27.44%**.

FOTO 2. Aparato de Vicat



- Peso Específico: Se determino mediante el método de Le Chatelier especificado en la norma NTC 221, dando como resultado una densidad de 3.07 g/cm^3 . Este valor se utiliza para el diseño y control de la mezcla de concreto.
- Fraguado del cemento : Para determinar los tiempos de fraguado se utilizan dos procedimientos, mediante las agujas de Vicat según la norma NTC 118 o según la norma NTC 109 usando las agujas de Gillmore, ilustradas en la foto 3. Se procedió en medir la penetración producida por una aguja de 1mm y 300g de peso a diferentes tiempos sobre una pasta de consistencia normal, usando el procedimiento de la norma NTC 118, se determina el fraguado inicial cuando la aguja es de 25mm y el fraguado final, cuando la aguja deja una ligera huella sobre la pasta.

Los tiempos de fraguado del cemento son de vital importancia, ya que a través de estos nos damos una idea del tiempo que tenemos disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y nivelar el concreto.

TABLA 4. Tiempos de fraguado para el cemento especial Tipo I Pórtland

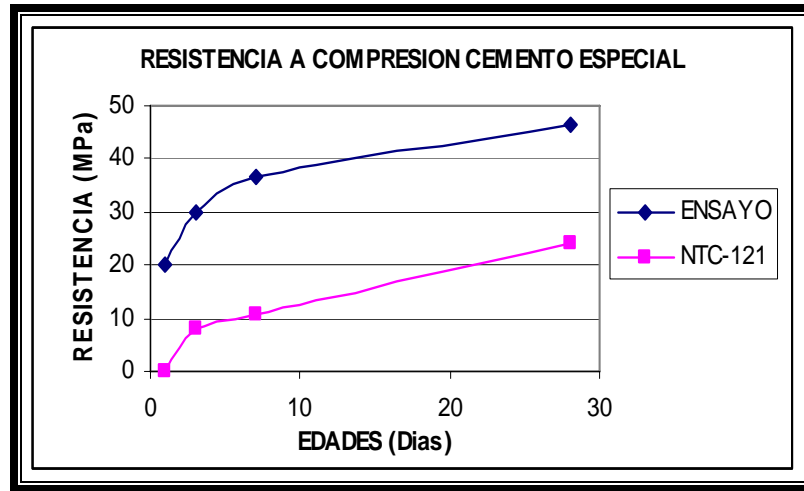
FRAGUADO INICIAL	FRAGUADO FINAL
1.97 HORAS	2.95 HORAS

- Superficie Específica: Esta propiedad es importante ya que a través de ella se obtiene la finura del cemento, que influye notablemente en la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor, la retracción y el aumento de resistencia con la edad. Se determina esta característica por medio de la norma NTC-33 basado en el método de Blaine, en donde para este tipo de cemento su superficie específica es de 4432 cm²/g; este valor nos indica que se trata de un cemento fino, el cual endurece rápidamente desarrollando resistencia.
- Resistencia mecánica: Se realizaron cubos de mortero de cemento siguiendo la norma NTC 220 y se fallaron a diferentes edades para obtener su resistencia a la compresión, valores presentes en la siguiente tabla:

TABLA 5. Resistencia de la pasta de cemento a diferentes edades

EDADES (DIAS)	RESISTENCIA (Mpa)	ESPECIFICACIÓN NTC 121 (MPa)
1	20	-
3	30.1	8
7	36.6	10.5
28	46.6	24

FIGURA 1. Resistencia a compresión del cemento especial



3.2 AGREGADOS

Con el fin de caracterizar el material empleado por las diferentes obras de construcción del casco urbano del área metropolitana de Bucaramanga, se tomaron las principales fuentes de explotación de la región como son el valle del Río de Oro, Río Frío, Río Negro y el Río Chicamocha.

Por cada fuente de explotación se encuentran activas plantas trituradoras que procesan y comercializan el material requerido para la producción de concretos. De todas las plantas existentes se realizó una detallada selección basada en criterios como disponibilidad de material que cumpliera las principales características para la elaboración de pavimento rígido y capacidad de producción diaria.

El material proveniente de la fuente del Río de Oro es utilizado por las trituradoras El Cristal, La Esmeralda, La Vega y Triturados del Oriente; ya que las tres últimas se encuentran ubicadas en el mismo lugar; se eligió La Esmeralda por su capacidad de producción; se optó por tener en cuenta la trituradora El Cristal ya

que a pesar de que se trata de la misma fuente, el sitio de extracción del material es diferente al de las primeras.

De la fuente del Río Frío dependen las Trituradoras El Tesoro y El Bambú, escogiendo a la primera, ya que la segunda no se encontraba activa en el momento.

Las plantas Avendaño-Sáenz y Los Pinos trabajan con material explotado por la fuente del Río Chicamocha (Pescadero), ya que las dos tienen excelente capacidad de producción se tomó material de la primera.

Por parte de Río Negro no se tomaron muestras de agregado grueso, ya que la única planta ubicada en este sector no comercializa con material apto para los requerimientos de pavimento rígido.

3.2.1 Agregado Grueso

FOTO 3. Material explotado



El proceso de obtención de material en cada una de las trituradoras consisten en tomar los depósitos sedimentarios del río de tamaños de guijarros y cantos,

transportarlos hasta cada una de las plantas para ser triturado y clasificado según las mallas tamices colocadas de acuerdo a las necesidades de cada una de ellas.

3.2.1.1 Planta trituradora El Cristal

FOTO 4. Trituradora El Cristal



Ubicada en el barrio Rincón de Girón. Utiliza como fuente de explotación el Río de Oro, formado por mantos de cimentación que varían de conglomerados muy resistentes hasta arenas muy sueltas.

Comercializan agregado grueso de tamaño $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1½". La planta trituradora cuenta con una capacidad de explotación diaria de 30 m³ para el tamaño de $\frac{3}{4}$ " y de 60 m³ para los tamaños de 1" y 1½ ".

Para la caracterización del material explotado por esta cantera, se tomaron muestras de grava de tamaños de 1½", 1" y $\frac{3}{4}$ " respectivamente.

FOTO 5. Agregado $\frac{3}{4}$ " trituradora el Cristal



3.2.1.2 Planta Trituradora La Esmeralda

FOTO 6. Trituradora La Esmeralda



Ubicada sobre la autopista a Girón Km6 vía carrasco frente a las instalaciones del Centro de Exposiciones CENFER. Utiliza también como fuente de explotación material del Río de Oro. Los tamaños de material utilizado como agregado grueso más comerciales por esta planta son los de $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1 $\frac{1}{2}$ ", con una capacidad diaria de explotación de 30 m³ para la primera y 40 m³ para las dos ultimas.

Se tomaron muestras de grava de los tamaños representativos con el fin de obtener su caracterización.

3.2.1.3. Planta trituradora El Tesoro

FOTO 7. Trituradora El Tesoro



Esta planta se encuentra ubicada sobre la vía al anillo vial, junto a la planta de tratamiento de aguas residuales. Su fuente de explotación es el Río Frío, caracterizada por depositar materiales consistentes en arenas, gravas, grandes cantos y algunas turbas arenosas.

Los tamaños mas comerciales de agregado grueso de esta planta son los de $\frac{3}{4}$ ", 1". Esta planta cuenta con una capacidad diaria de explotación de 150. Se analizaron las muestras de grava correspondientes a los tamaños anteriormente descritos.

3.2.1.4. Planta Avendaño-Sáenz

La planta Avendaño-Sáenz se encuentra ubicada en Pescadero, su fuente de explotación es el Río Chicamocha, encontrando conglomerados de origen

sedimentario clástico; los clastos son principalmente cuarzo arenitas de grano fino y limonitas silíceas de gran compactación envueltas en matriz de arena cuarzosa. Esta planta se caracteriza por distribuir agregado de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1". Se tomaron muestras de grava de tamaños de $\frac{3}{4}$ " y 1" ya que estas son las mas recomendadas para la producción de concreto para pavimento rígido.

3.2.1.5. ENSAYOS

- *Análisis Granulométrico*

FOTO 8. Proceso de gradación agregado grueso



Este ensayo se realizó para cada una de las muestras tomadas por las diferentes canteras siguiendo los parámetros establecidos en la norma NTC 77. Se procedió a tomar una muestra por cuarteo de cada cantera de acuerdo a su tamaño máximo nominal. Se seca al horno y se realiza su clasificación por tamices. Los resultados obtenidos para los tamaños de cada una de las canteras estudiadas se encuentran expresados por los siguientes gráficos:

FIGURA 2. Curva Granulométrica Trituradora El Cristal tamaño aparente 1½"

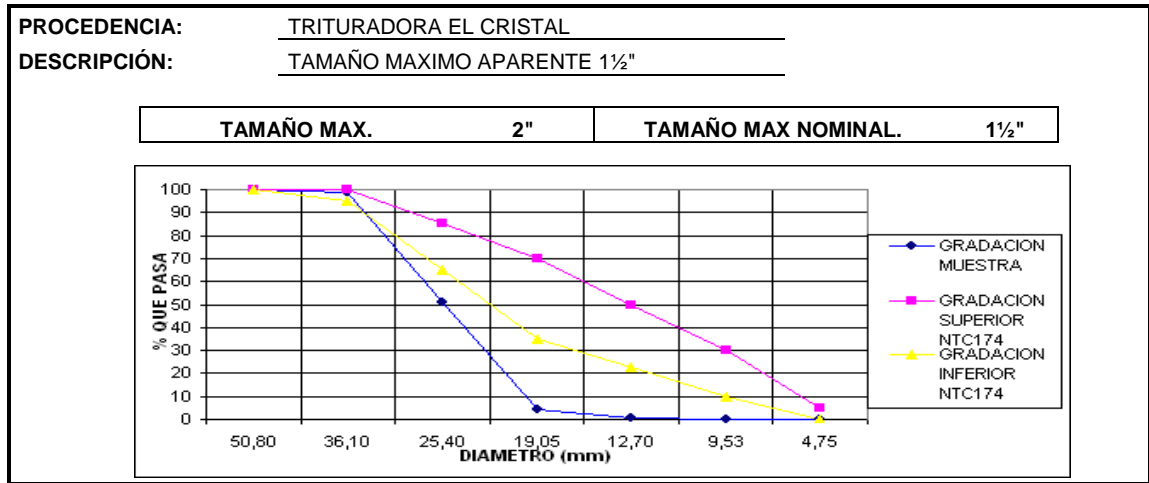


FIGURA 3. Curva Granulométrica Trituradora El Cristal tamaño aparente 1"

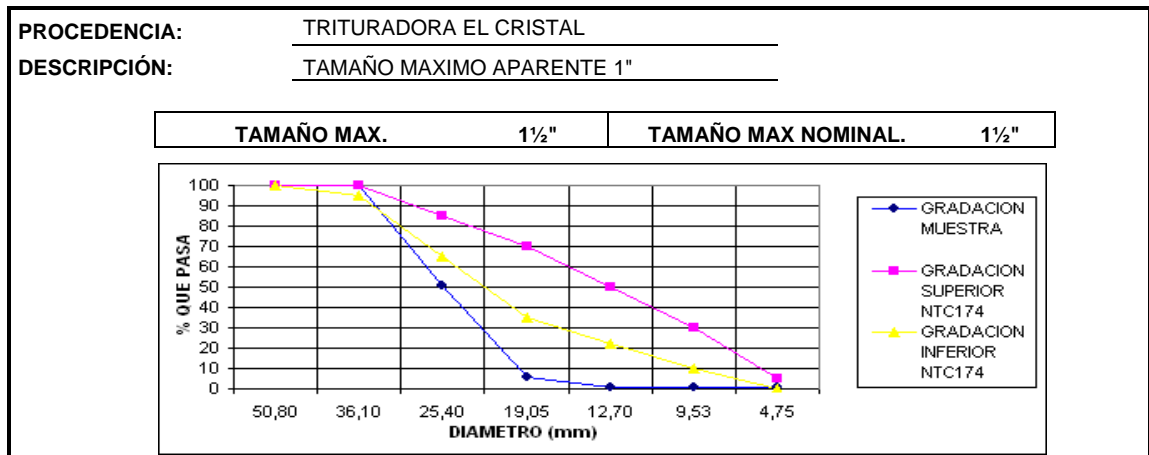


FIGURA 4. Curva Granulométrica Trituradora El Cristal tamaño aparente ¾"

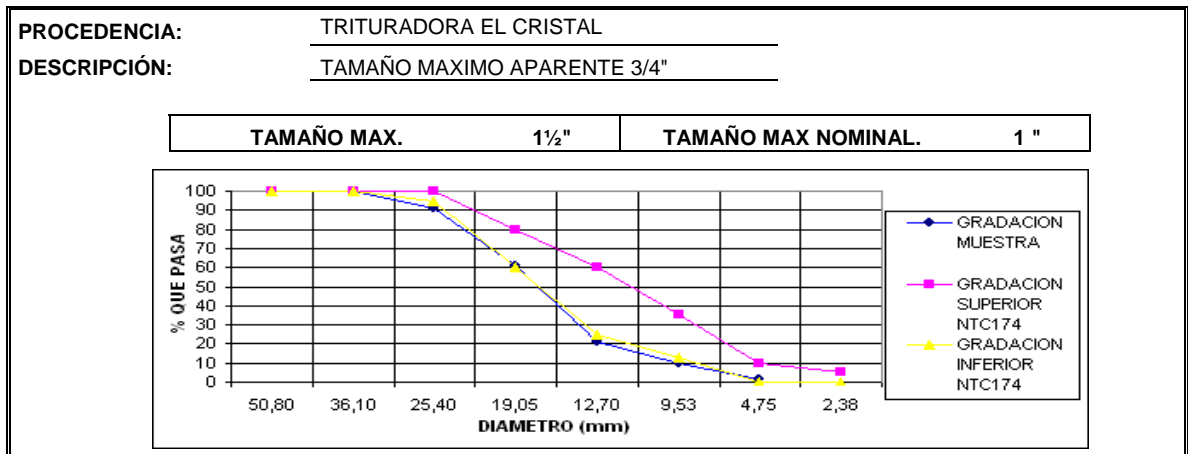


FIGURA 5. Curva Granulométrica Trituradora La Esmeralda tamaño aparente 1½"

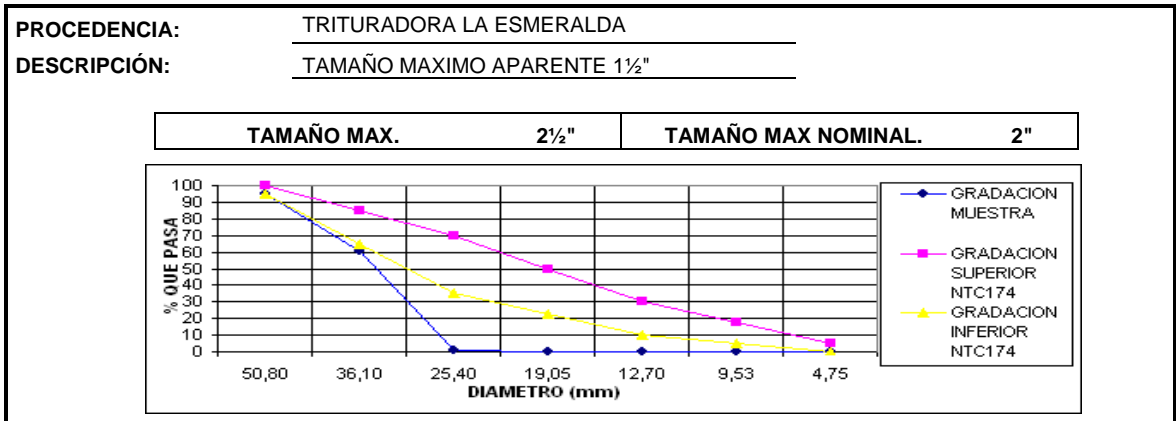


FIGURA 6. Curva Granulométrica Trituradora La Esmeralda tamaño aparente 1"

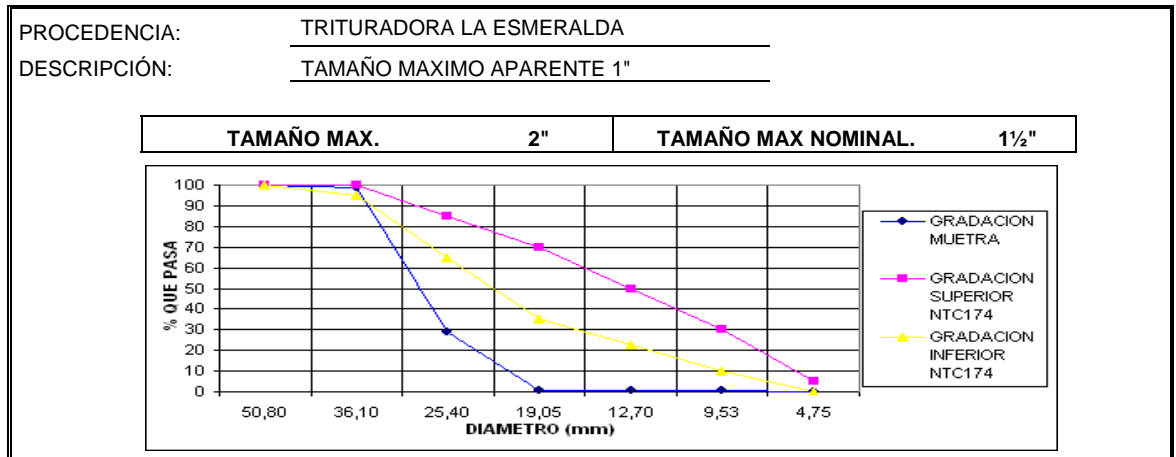


FIGURA 7. Curva Granulométrica Trituradora La Esmeralda tamaño aparente ¾"

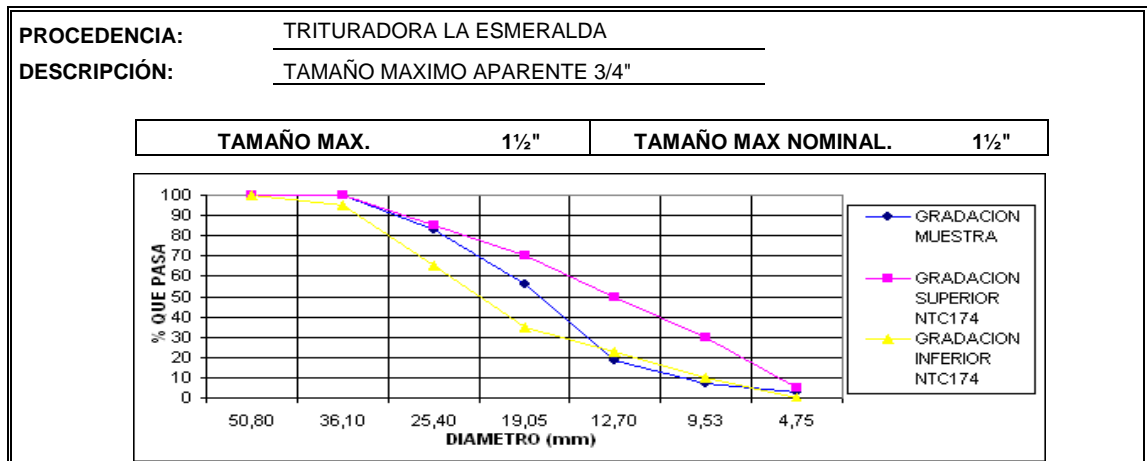


FIGURA 8. Curva Granulométrica Trituradora El Tesoro tamaño aparente 1"

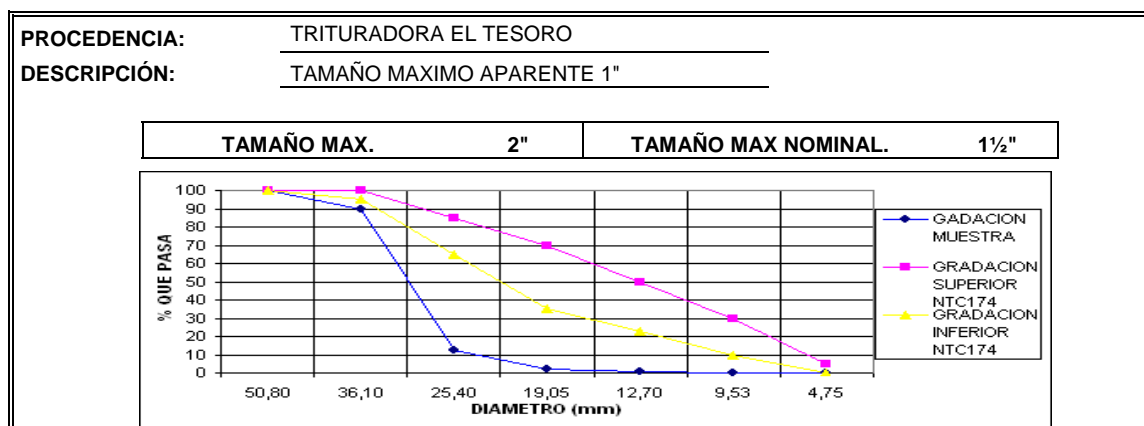


FIGURA 9. Curva Granulométrica Trituradora El Tesoro tamaño aparente ¾"

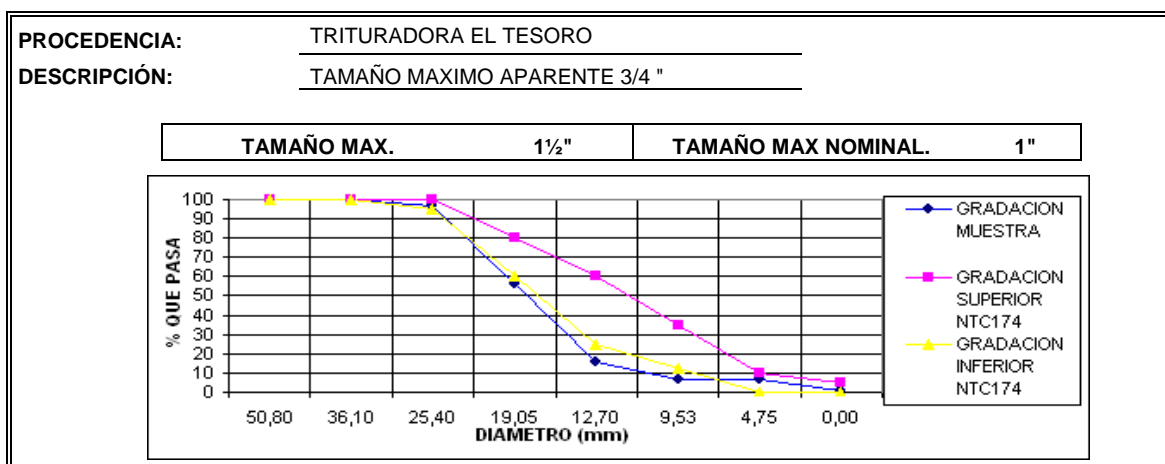


FIGURA 10. Curva Granulométrica Trituradora Avendaño-Sáenz tamaño aparente 1"

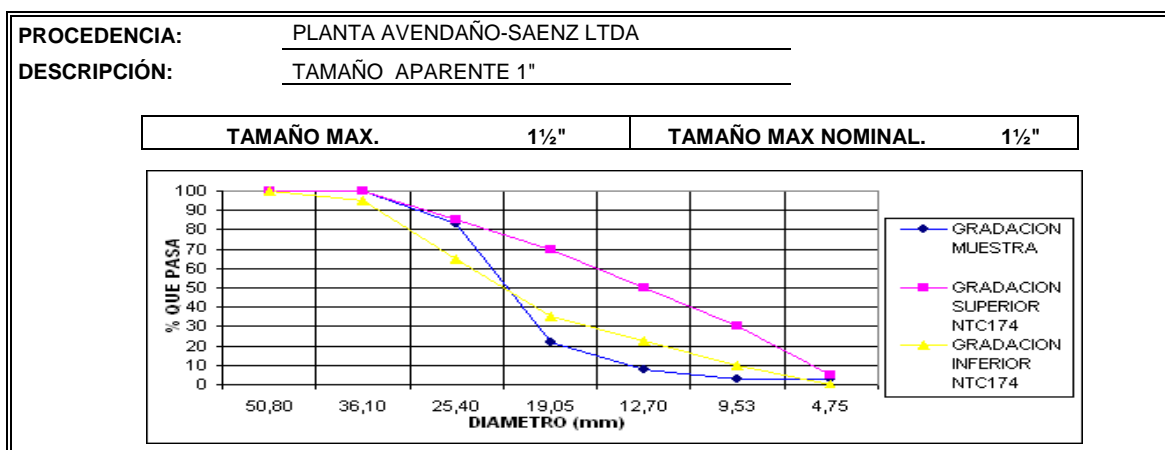
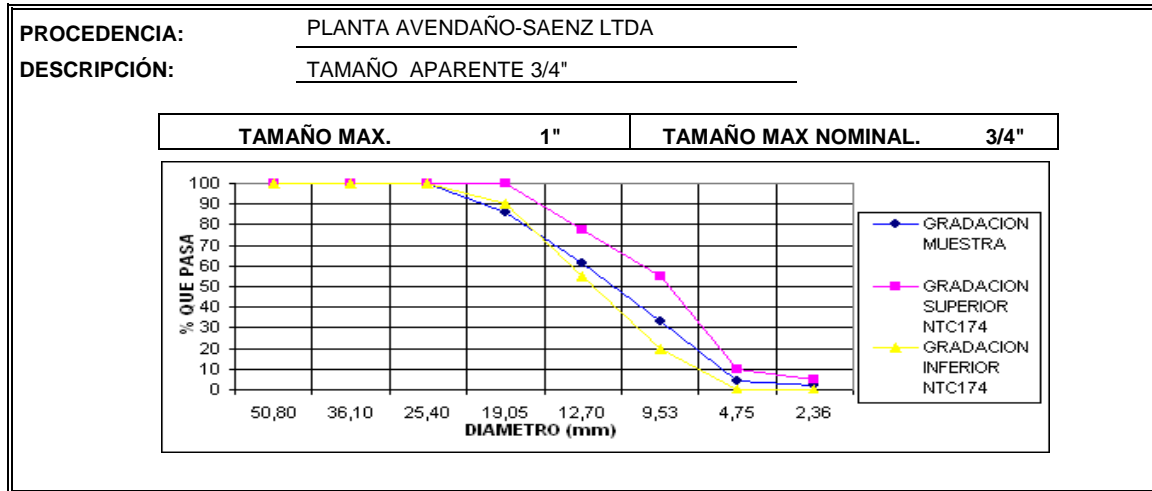


FIGURA 11. Curva Granulométrica Trituradora Avendaño-Sáenz tamaño aparente ¾"



Un agregado bien gradado logra una buena manejabilidad sin presentar segregación permitiendo compactar la mezcla a la máxima densidad logrando altas resistencias en el concreto, mientras si se trata de un material mal gradado presenta excesos de vacíos que obliga a ser llenados por mortero encareciendo la mezcla y en algunos casos obteniendo malas apariencias en los concretos.

Establecer si los agregados analizados por cada una de las trituradoras presentan una buena o mala gradación de acuerdo a las especificaciones obtenidas por la NTC para agregados gruesos no representa un criterio final a la hora de determinar si un material es apto o no para ser empleado en el diseño de la mezcla, puesto que estas normas han sido referenciadas de otras internacionales y no han sido ajustadas a los agregados explotados por cada una de las regiones del país.

La mayoría del material analizado no se encuentra entre los rangos establecidos por las especificaciones, sin embargo esto no implica que no se puedan diseñar mezclas utilizando estos materiales, ya que es posible en algunos casos hacer una combinación óptima de los agregados.

- *Gravedad específica y peso unitario*

Se realiza siguiendo los parámetros establecidos en la Norma NTC 176. A través de esta propiedad se valora la densidad y la porosidad del agregado, y se logra inferir el comportamiento del agregado en el diseño de la mezcla. Es uno de los parámetros más importantes para obtener mezclas homogéneas con un buen desempeño a largo plazo.

Con estos datos se obtuvieron los resultados presentes en la Tabla 7.

Los valores del peso unitario nos indican que todas las muestras de agregados analizadas, se pueden emplear en el diseño de concretos estructurales, debido a que sus pesos unitarios se encuentran aproximadamente en un rango de 1300 – 1600 kg/m³, lográndose con esto una mezcla de tipo normal, según indica la TABLA No. 4. Los pesos unitarios sueltos y compactados se emplean para determinar la capacidad de compactación que tienen los agregados, así como analizar su porosidad y la capacidad de absorción.

Según los resultados obtenidos, los agregados de la trituradora Avendaño Sáenz presentan el porcentaje de porosidad más bajo, indicando al mismo tiempo que son los que tienen menor capacidad de absorción de agua dentro de los poros internos del agregado, lo que representa que puede tener un desempeño adecuado dentro de la mezcla de concreto. Una alta porosidad puede indicar una reducción en la calidad mecánica del agregado, y puede tener efectos indeseables en el concreto debido a su limitada resistencia mecánica, su alta deformabilidad y su elevada capacidad de absorber agua.

TABLA 8. Densidad específica y Peso Unitario de los Agregados Gruesos.

PROPIEDAD	Trituradora "El Cristal"			Trituradora "La Esmeralda"			Trituradora "El Tesoro"		Trituradora "Pescadero"	
	Tamaño Aparente			Tamaño Aparente			Tamaño Aparente		Tamaño Aparente	
	1 1/2"	1"	3/4"	1 1/2"	1"	3/4"	1"	3/4"	1"	3/4"
Gravedad Específica Real	2,62	2,59	2,58	2,65	2,65	2,56	2,65	2,61	2,7	2,7
Gravedad Específica Aparente	2,53	2,5	2,49	2,55	2,49	2,48	2,57	2,55	2,64	2,64
Gravedad Específica Aparente SSS	2,57	2,54	2,52	2,59	2,55	2,51	2,6	2,57	2,66	2,66
Peso Unitario del Agregado SSS Compactado	1611,99	1625,75	1576,72	1674,78	1573,9	1604,23	1609,17	1573,9	1591,89	1582,72
Peso Unitario del Agregado SSS Suelto	1509,7	1531,75	1474,78	1456,08	1428,92	1491,36	1533,33	1411,29	1486,07	1476,9
% Absorción	1,41	1,4	1,38	1,53	2,39	1,27	1,13	0,93	0,83	0,83
% de Vacíos	37,19	35,91	37,46	35,33	38,24	36,14	38,11	38,76	28,05	28,59

- *Desgaste a la abrasión*

En lo que concierne a la durabilidad del concreto endurecido, existen en él características físicas que controlan su desempeño cuando es expuesto a procesos abrasivos, una de estas es la resistencia al desgaste; dichas propiedades dependen en gran medida de la calidad de los agregados, para evaluar la resistencia a procesos abrasivos se realiza la prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles con el fin de calificar y comparar el mejor comportamiento futuro del agregado grueso en el concreto. Se decide hacer este ensayo sobre una muestra representativa de cada trituradora ya que por la procedencia del material es decir la fuente de explotación, se asume que los componentes son los mismos.

TABLA 9. Resultados Ensayo desgaste a la abrasión Trituradoras

ENSAYO DESGASTE A LA ABRASION			
Trituradora El Cristal	Trituradora La Esmeralda	Trituradora El Tesoro	Trituradora Avendaño-Sáenz
36.7%	27.17%	38.7%	24.05 %
ESPECIFICACION NTC 174 < 50%			

- *Sanidad*

Este ensayo se realiza siguiendo la norma NTC 126 , se efectúa sobre una muestra por trituradora seleccionada, en la cual la muestra de agregado de granulometría conocida se sumerge alternamente en una solución saturada de sulfato de sodio y se seca rápidamente en un horno a 110°C, la formación de los cristales de sal en los poros del agregado tienden a romper las partículas simulando la acción del hielo, este procedimiento se realiza durante cinco ciclos y

la reducción del tamaño de partículas demostrada por un análisis granulométrico denota el grado de inestabilidad.

Esta prueba no se puede utilizar como base para aceptar o rechazar un agregado pero sirve para conocer o tener una idea de las propiedades de este. Los resultados se presentan en la tabla a continuación:

TABLA 10. Resultados Ensayo de sanidad Trituradoras

ENSAYO DE SANIDAD			
Trituradora El Cristal	Trituradora La Esmeralda	Trituradora El Tesoro	Trituradora Avendaño-Sáenz
3.57	2.50%	3.66%	5.85%
ESPECIFICACIÓN NTC 174 < 12%			

- *Índice de aplanamiento y alargamiento*

La importancia de este ensayo radica en evaluar el efecto de la forma y textura superficial de los agregados en la manejabilidad de una mezcla. Se considera fundamental, el trabajar con agregados triturados, con formas aproximadamente cúbicas para que la adherencia con la pasta de cemento sea mayor en comparación con las partículas con formas redondeadas. Además, los agregados triturados deben tener un porcentaje máximo de partículas alargadas y aplanadas de 15% para que su efecto sobre la manejabilidad no sea importante.

Los porcentajes obtenidos en el índice de alargamiento y aplanamiento de las muestras analizadas de las trituradoras estudiadas se encuentran en la Tabla 10.

TABLA 11. Índice de Alargamiento y Aplanamiento

Planta Trituradora	Índice de Alargamiento	Índice de Aplanamiento
	< 15%	< 15%
El Cristal	25.83%	14.82%
La Esmeralda	16.73%	9.15%
El Tesoro	24.00%	10.88%
Avendaño-Sáenz	22.88%	12.40%

Todas las muestras analizadas cumplen con el índice de aplanamiento. En cuanto al índice de alargamiento, ninguna muestra estudiada cumple con los valores especificados.

- *Reacción álcali-sílice*

La reacción álcali-sílice involucra reacciones químicas entre los agregados reactivos y los álcalis contenidos en el hormigón capaces de combinarse químicamente y formar un compuesto que incremente su volumen con la humedad e induzca a la rotura prematura o a la pérdida de la prestación de servicio del pavimento. Se realiza este ensayo tomando una muestra por trituradora con el fin de conocer si los componentes del agregado son potencialmente reactivos con los álcalis del cemento.

TABLA 12. Resultados Ensayo de reacción álcali-sílice Trituradoras

ENSAYO DE REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE			
Trituradora El Cristal	Trituradora La Esmeralda	Trituradora El Tesoro	Trituradora Avendaño-Sáenz
Sc=29% R=58%	Sc=22% R=37%	Sc=23% R=40%	Sc=19% R=33%
ESPECIFICACIÓN NTC 3773 Sc= 35% , R= 70%			

Según los resultados obtenidos se puede concluir que ninguno de los agregados estudiados se puede calificar como potencialmente reactivo.

3.2.2 AGREGADO FINO

FOTO 9. Fuente Río de Oro, arena Girón



Para la caracterización del agregado fino se tomaron muestras de las fuentes mas comerciales que abastecen a la ciudad de Bucaramanga, siendo arenas naturales ya que cada una de las fuentes son depósitos sedimentarios o ríos, presentando una textura lisa, de forma redondeada, ofreciendo mayor manejabilidad a la mezcla. Cada una de ellas son:

- Río Frío y Río de Oro, conocida como arena de Girón
- Río Negro, distinguida por llamarse comercialmente arena de bocas
- Río Chicamocha, más conocida como arena de pescadero

Se tomaron cuatro muestras en total, una por cada fuente aunque por la arena de bocas se tomaron dos muestras ya que en esta fuente se encuentran dos tipos de arena de acuerdo a su finura.

- *Análisis granulométrico*

También es necesario y muy importante realizar este ensayo en el agregado fino, para conocer su distribución granulométrica y por consiguiente su incidencia en la manejabilidad y apariencia en la mezcla. El caso de las arenas es más crítico debido a que no se debe retener mas del 45% de material entre dos mallas consecutivas. Este ensayo se realizo siguiendo la norma NTC 77 sobre cada una de las muestras tomadas por cada fuente de explotación, los resultados se presentan en las tablas siguientes:

FIGURA 12. Curva Granulométrica arena de Girón

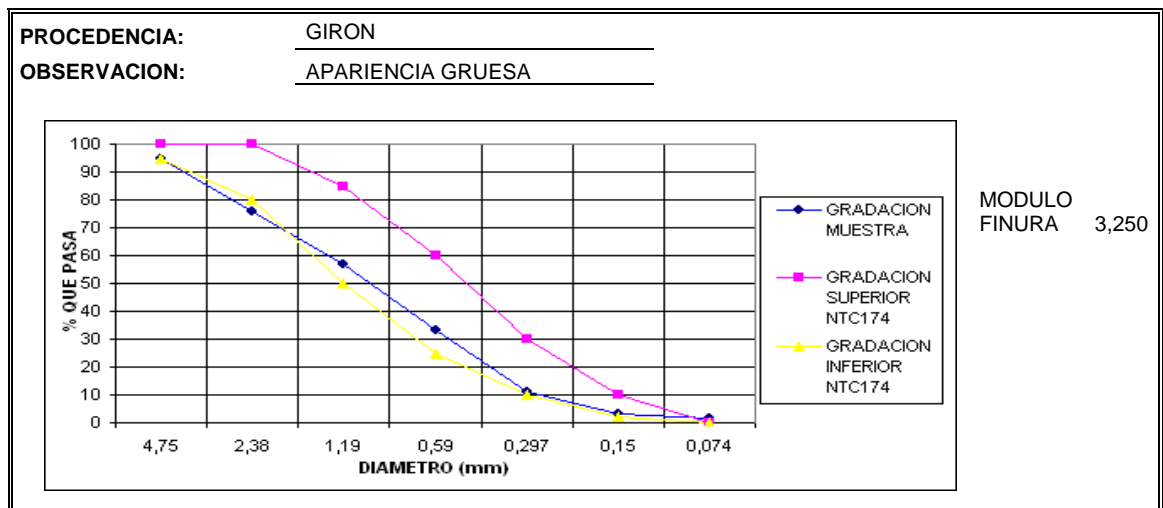


FIGURA 13. Curva Granulométrica arena de Bocas, muestra # 1.

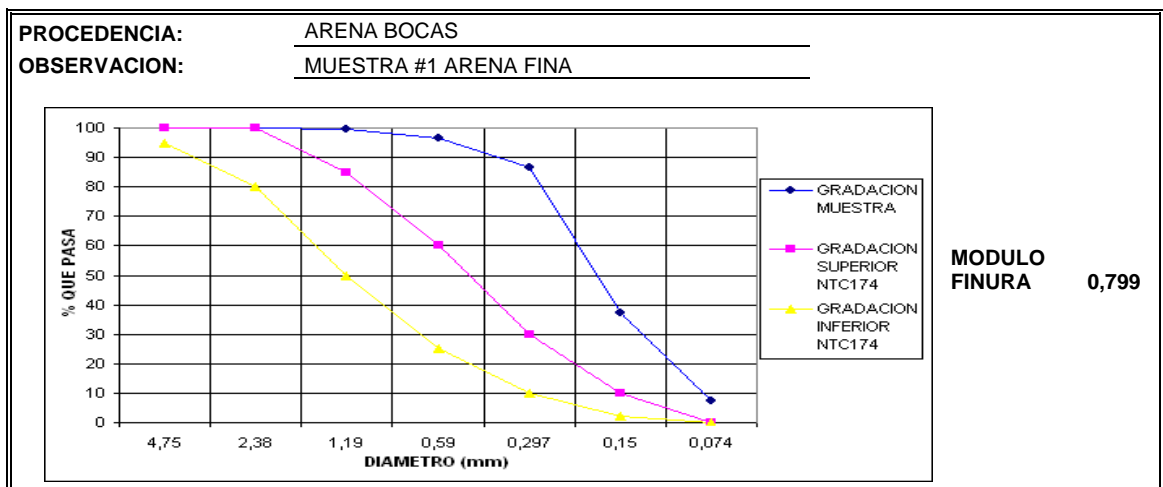


FIGURA 14. Curva Granulométrica arena de Bocas, muestra # 2.

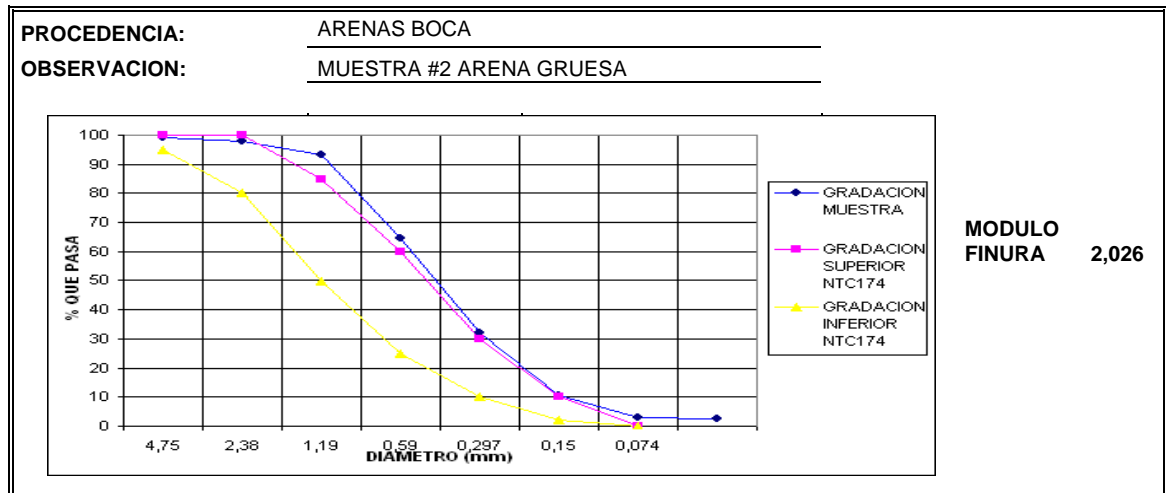
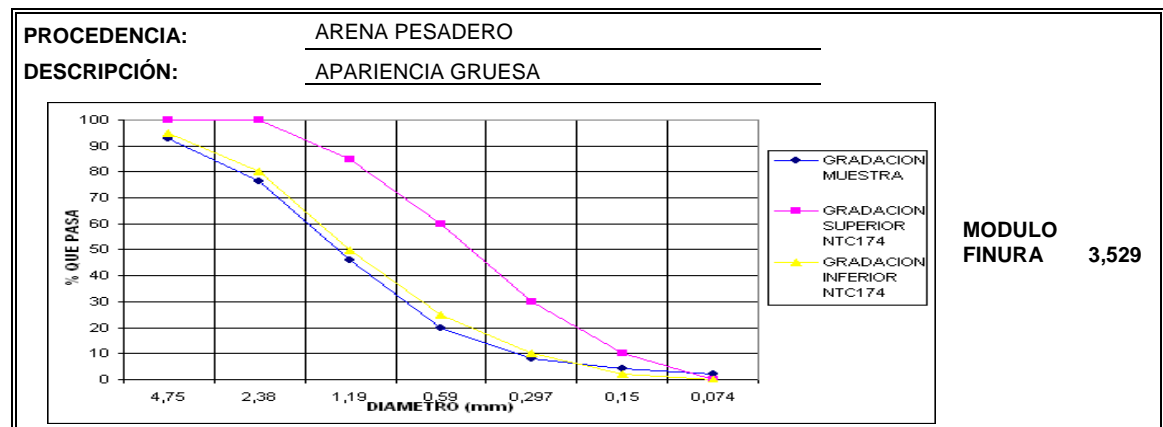


FIGURA 15. Curva Granulométrica arena Pescadero.



De acuerdo al análisis granulométrico realizado en cada una de las muestras de arena se pudo encontrar el módulo de finura, criterio importante a la hora de seleccionar el tipo de agregado fino en la mezcla de concreto, debido a que arenas muy finas requieren de mayor contenido de agua y fácilmente se puede presentar segregación, mientras si se trata de arenas muy gruesas se obtienen mezclas muy ásperas y cohesivas. Para proporcionar una manejabilidad adecuada se debe tener en cuenta un límite inferior de 2.2 en arenas finas y un límite

superior de 3.0 en arenas gruesas¹ y cumplir con las especificaciones propuestas por la NTC 174. De acuerdo al criterio anteriormente mencionado, se descartó la muestra de arena fina perteneciente a la fuente de Río Frió para el diseño de mezclas.

- *Equivalente de arena*

Este ensayo permite identificar las proporciones de material arcilloso, finos plásticos o polvo sobre cada una de las muestras analizadas, es una propiedad característica en el proceso de calidad de los agregados, identifica los cambios en las propiedades de una fuente.

TABLA 13. Ensayo Equivalente de Arenas

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA: Material pasa No.4 , T=25°C	GIRÓN	BOCAS MUESTRA #1	BOCAS MUESTRA #2	PESCADERO
ALTURA DE LA ARCILLA = H ₁	3.2	3.9	3.3	3.1
ALTURA DE LA ARENA = H ₂	3.0	2.5	3.0	2.8
EQUIVALENTE ARENA %	93.75	64.1	90.9	90.3
ESPECIFICACIÓN %	MÍNIMO 60%			

- *Contenido de materia orgánica*

El ensayo de materia orgánica realizado sobre cada una de las muestras arroja como resultado el color numero 1 según la comparación con la carta No 815 de la Hellige Tester, dando a entender que el contenido de materia orgánica es baja, aunque como observación se encontró que las muestras de arena de Girón tienen mal olor. En la foto 9 se presenta la prueba de contenido de materia orgánica que se realizó.

¹ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO. Capítulo 11, pág. 121 - 1.987

FOTO 10. Ensayo de materia orgánica en las muestras de arena.



- *Gravedad Específica y Peso Unitario*

Es necesario llevar el control de las densidades del agregado fino para garantizar que la mezcla de concreto diseñada, obtenga buena manejabilidad y resistencia mecánica luego del fraguado. Siguiendo los parámetros establecidos en la norma NTC 237, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 14.

TABLA 14. Gravedad Específica y Peso Unitario Agregados Finos.

PROPIEDAD	Arena Girón		Arena Bocas		Arena Pescadero
	Gruesa	Fina	Gruesa	Fina	
Gravedad Específica Real	2,65	2,64	2,68	2,74	2,67
Gravedad Específica Aparente	2,58	2,57	2,53	2,49	2,57
Gravedad Específica Aparente SSS	2,61	2,60	2,58	2,58	2,61
Peso Unitario del Agregado SSS Compactado	1783,07	1783,07	1393,88	1543,21	1784,83
Peso Unitario del Agregado SSS Suelto	1647,27	1648,68	1144,03	1292,77	1647,85
% Absorción	0,49	0,53	1,16	1,80	0,71
% de Vacíos	31,64	31,39	46,07	40,19	31,53

La arena de la fuente del Río Negro (Arena de bocas gruesa) se descarta ya que en este ensayo obtuvo los menores valores de peso unitario, y los más altos en cuanto a porosidad y absorción, infiriendo problemas de expansión y abultamiento. Por el contrario, la arena que mejor comportamiento presenta luego de realizar la caracterización de las fuentes de explotación cercanas al Área Metropolitana de Bucaramanga, es la arena del Río Chicamocha (Pescadero).

4. DISEÑO DE MEZCLAS MR-45

4.1 GENERALIDADES

Para el diseño de mezclas empleadas en este trabajo, se toma en cuenta que la factibilidad del manejo del concreto y su calidad se basan en el estudio de su composición, es decir, que es importante el estudio de la formulación a partir de los componentes de que se dispone y del grado de control que se asigne. Es necesario buscar los constituyentes de mejores propiedades, no solamente por razones económicas, sino también por razones técnicas.

El diseñar una mezcla de concreto consiste en la selección de los materiales disponibles y la determinación de sus cantidades relativas para producir tan económicamente como sea posible, concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada, adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, manejabilidad y apariencia adecuada. Estas proporciones dependen de las propiedades y características de los materiales usados, de las propiedades particulares del concreto especificado y de las condiciones particulares bajo las cuales el concreto será producido y colocado.

Con el diseño de mezclas se pretende:

- Determinar las dosificaciones con los diferentes materiales de acuerdo con sus características intrínsecas, ya que como se ha visto, las propiedades de estos varían de acuerdo a su sitio de origen y a las condiciones climáticas.
- Calcular las características medias de esta composición, es decir, que la dosificación realizada cumpla siempre con los mismos estándares de comportamiento.
- Establecer la dosificación de mejor desempeño.

Se propone desarrollar mezclas MR-45 a partir de la combinación de materiales locales estudiados anteriormente, con el fin de elegir el mejor comportamiento de todas estas y formular una mezcla final.

4.2 CONSIDERACIONES BÁSICAS

- Economía

Luego de estudiar los aspectos técnicos y de seguridad en el diseño de mezcla planteado, se debe considerar la factibilidad económica de su producción, lo cual constituye sin duda alguna uno de los requisitos más comunes de la ingeniería. El costo de la producción de concreto, está constituido por el costo de los materiales, la mano de obra, los equipos utilizados, y el grado de control de calidad que se adelante en el sitio de trabajo.

- Especificaciones

Por lo general, cada proyecto tiene requerimientos particulares que dependen del tipo de estructura, condiciones de clima, sistema constructivo, tiempo y costos de ejecución, entre otros. En este caso se trabajara con pavimentos rígidos de MR-45; se tuvieron en cuenta las especificaciones generales de construcción de carreteras especificaciones del Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías determinando aspectos como:

- Asentamiento entre 80 y 120 milímetros.
- Tamaño máximo y/o máximo nominal del agregado grueso (dependiendo de la fuente de explotación de agregados).
- Contenido mínimo de aire incluido, para dar durabilidad en ciertos climas, (entre 1% y 2%)
- Resistencia a la flexión mínima necesaria, por consideraciones estructurales del pavimento rígido de 45 Kg/cm².

- Manejar relación agua/cemento inferior a 0.42, y por tanto contenidos mínimos de cemento.
- Las pérdidas de ensayo de solidez no podrán superar el doce por ciento (12%) o dieciocho por ciento (18%), según se utilice sulfato de sodio o de magnesio, respectivamente.
- El desgaste del agregado grueso en la máquina de Los Ángeles no podrá ser mayor de cuarenta por ciento (40%).
- En cuanto a granulometría, el tamaño máximo nominal del agregado no deberá ser mayor de cincuenta milímetros (50 mm).
- Los índices de aplanamiento y alargamiento del agregado grueso procesado, no deberán ser mayores de quince por ciento (15%), entre otras.

- Tecnología existente

Otro aspecto considerado es la tecnología existente en el sitio de la obra para producir el concreto, ya que como se sabe, existen diferentes sistemas de dosificación, de mezclado, transporte, colocación y curado, que tienen influencia en las propiedades del concreto.

Para la preparación de las mezclas se utilizó una mezcladora mecánica con capacidad de ½ bulto.

FOTO 11. Mezcladora mecánica



4.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO

En el siguiente procedimiento se ilustra la metodología empleada para realizar los cálculos de diseño de la mezcla guiados por la metodología sugerida por el Ingeniero Diego Sánchez de Guzmán, en su libro TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO.

Se debe tener en cuenta que el establecimiento de las proporciones de cada ingrediente por metro cúbico de concreto es obtenida siguiendo la secuencia de pasos, pero, antes de iniciar el procedimiento se hace énfasis en que un diseño, en sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que como hemos visto los materiales son espacialmente variables de acuerdo a su fuente de explotación y muchas de sus propiedades no pueden ser evaluadas con exactitud en forma cuantitativa. *Por tal motivo, es necesario hacer mezclas de prueba para revisar y ajustar las proporciones de los materiales.*² Los pasos empleados para el diseño de las mezclas fueron los siguientes:

4.3.1 Selección del Asentamiento

De esta propiedad el concreto en estado fresco depende gran parte las propiedades en estado endurecido, y es por tanto que se debe tener en cuenta que el sistema de colocación del pavimento rígido , solicita un asentamiento entre 80 y 120 milímetros (alrededor de 4"), es decir, se maneja una mezcla entre media a húmeda.

4.3.2 Selección del tamaño máximo del agregado

Se trabajó con los tamaños Máximos de cada cantera para estimar la influencia y comportamiento de cada uno de los materiales de nuestra zona para determinar el tamaño del agregado que mejor se ajusta con los requerimientos exigidos.

² SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO. Capítulo 11, pág. 244 - 1.987.

4.3.3 Estimación del contenido de aire

Se valora una cantidad de aire en la mezcla, que representa el aire naturalmente atrapado dentro del concreto de modo que se pueda convertir en un factor de seguridad. Este valor se estableció a partir de la tabla 11.5. del capítulo 11 del libro anteriormente mencionado.

4.3.4 Estimación del contenido de agua de mezclado.

El contenido de agua por volumen unitario de mezcla que se requiere para producir el asentamiento que se necesita para producir una mezcla MR-45, depende del requerimiento de agua del cemento y del requerimiento de agua del agregado.

En nuestro medio, se han desarrollado investigaciones que correlacionan el contenido de agua de mezclado con el asentamiento, tamaños máximos y con la forma y textura de los agregados gruesos. La tabla 11.7 del libro mencionado se emplea para determinar este valor.

4.3.5 Determinación de la resistencia de Diseño

Las especificaciones de resistencia están dadas por la necesidad de formular concreto de 45 Kg/cm² de resistencia a flexión con materiales de las fuentes de explotación de nuestra zona. Conocemos de antemano que a medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto aumenta su resistencia a la flexión, esta correlación entre la resistencia a la compresión y su módulo de rotura no es lineal sino más bien de tipo parabólico, es decir, que a medida que aumenta la resistencia a compresión, la resistencia a flexión también aumenta pero en menor proporción.

En este caso, manejaremos una relación aproximada ya que no disponemos de ensayos a flexión:

$$MR = K^3 \sqrt{f'c}$$

Donde:

MR : Módulo de Rotura del Concreto en kg/cm^2

F'c : Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm^2 .

K^3 : Valor 2.53

Conociendo el valor del MR y K, despejamos el valor f'c para conocer el valor de la resistencia a la compresión necesaria.

Luego: $f'c = 315 \text{ kg/cm}^2$

Por lo anterior, se especificara una resistencia a la compresión de 4500 p.s.i., y una resistencia de diseño de 350 kg/cm^2 , obtenida de acuerdo a la tabla 11.12 del libro guía.

4.3.6 Selección de la relación agua-cemento

Se tomo como criterio de selección la tabla 11.13 que da la correspondencia entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento para los cementos colombianos Pórtland tipo I.

4.3.7 Calculo del contenido de cemento

Estableciendo los dos valores anteriores, se determina el contenido de cemento a partir de la relación:

$$C = \frac{A}{A/C}$$

³ Valor referenciado del proyecto de grado "Determinación de los módulos de elasticidad producida por los diferentes materiales existentes en Bucaramanga y su Área Metropolitana. Universidad Pontificia Bolivariana. Mayo 2004.

4.3.8 Estimación de las proporciones de agregados

Como estamos trabajando con diferentes fuentes de explotación, las proporciones de los agregados se rigen por el tamaño máximo y gradación de cada cantera en particular, y debido a que la combinación granulométrica total de ambos agregados, finos y gruesos, es muy importante con relación con las propiedades del concreto, se trabajará con el método gráfico empleado por los ingleses⁴ Fuller y Thompson propuesto en 1.907 y no con el método de la A.C.I. 211.1 debido a que no se posee una granulometría bien gradada (agregados controlados) y se puede correr el riesgo de obtener relaciones arena-agregado grueso inconvenientes.

Se trabajará las combinaciones de las mezclas tratando de encaminar las dosificaciones hacia el límite grueso debido a que los pavimentos constituyen concretos menos trabajables que los desarrollados por el límite fino, como los requeridos para ser bombeados.

4.4 CÁLCULOS DE DISEÑOS DE MEZCLA

A continuación se ilustrará paso a paso los cálculos y el proceso de diseño para la mezcla conformada con los materiales de la trituradora “La Esmeralda” de Tamaño Aparente de 1” y arena de Girón. Estos pasos conforman un cálculo tipo, debido a que los demás diseños se calcularon siguiendo el mismo procedimiento.

- *Selección del asentamiento:* El asentamiento requerido para la realización de concretos para pavimento rígido, debe estar dentro del rango 80 a 120 mm, es decir 3.2” - 4.7”.
- *Selección del tamaño máximo de agregado:* Para el ejemplo dado, se trabajará con el agregado de la trituradora La Esmeralda con Tamaño Máximo de 2”.

⁴ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO. Capítulo 11, pág. 242. 1987

- *Estimación del contenido de aire:* El aire que contiene la mezcla es naturalmente atrapado y para un Tamaño Máximo Nominal de 1 ½ ", se estima un contenido de aire del 1%.⁵. Este valor no se tiene en cuenta para el diseño de la mezcla.
- *Estimación de la cantidad de agua:* Se obtienen 168 litros de agua por metro cúbico de concreto en función del Tamaño Máximo del Agregado de 2", su forma angular y su textura rugosa para un asentamiento de 100 mm (4").
- *Selección de la resistencia de Diseño:* Como se menciona en el numeral 4.3.5, se trabajará una resistencia especificada de 4500 p.s.i. (315 kg/cm²), y una resistencia de diseño de 350 kg/cm². Esto con la finalidad de trabajar con un margen de seguridad.
- *Selección de la relación Agua-Cemento:* Se determino una relación de 0.4 a partir de la resistencia de diseño de 350 kg/cm².
- *Cálculo del contenido de cemento:* Para un contenido de agua de 168 l/m³ y una relación agua cemento de 0.4, se obtiene una cantidad de cemento igual a 420 Kg.
$$C = 168/0.4 = 420 \text{ Kg/m}^3$$
- *Proporciones de agregados:* Dado que el análisis granulométrico efectuado a los agregados arrojó que la mayoría de estos materiales no se ajustan a las especificaciones de la Norma NTC 174, se hace necesario optimizar la granulometría con el fin de obtener una mezcla, de materiales gruesos y finos, que se aproxime a las especificaciones. A continuación se muestra en la tabla

⁵ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO. Capítulo 11, pág. 238. Tabla 11.5 1987

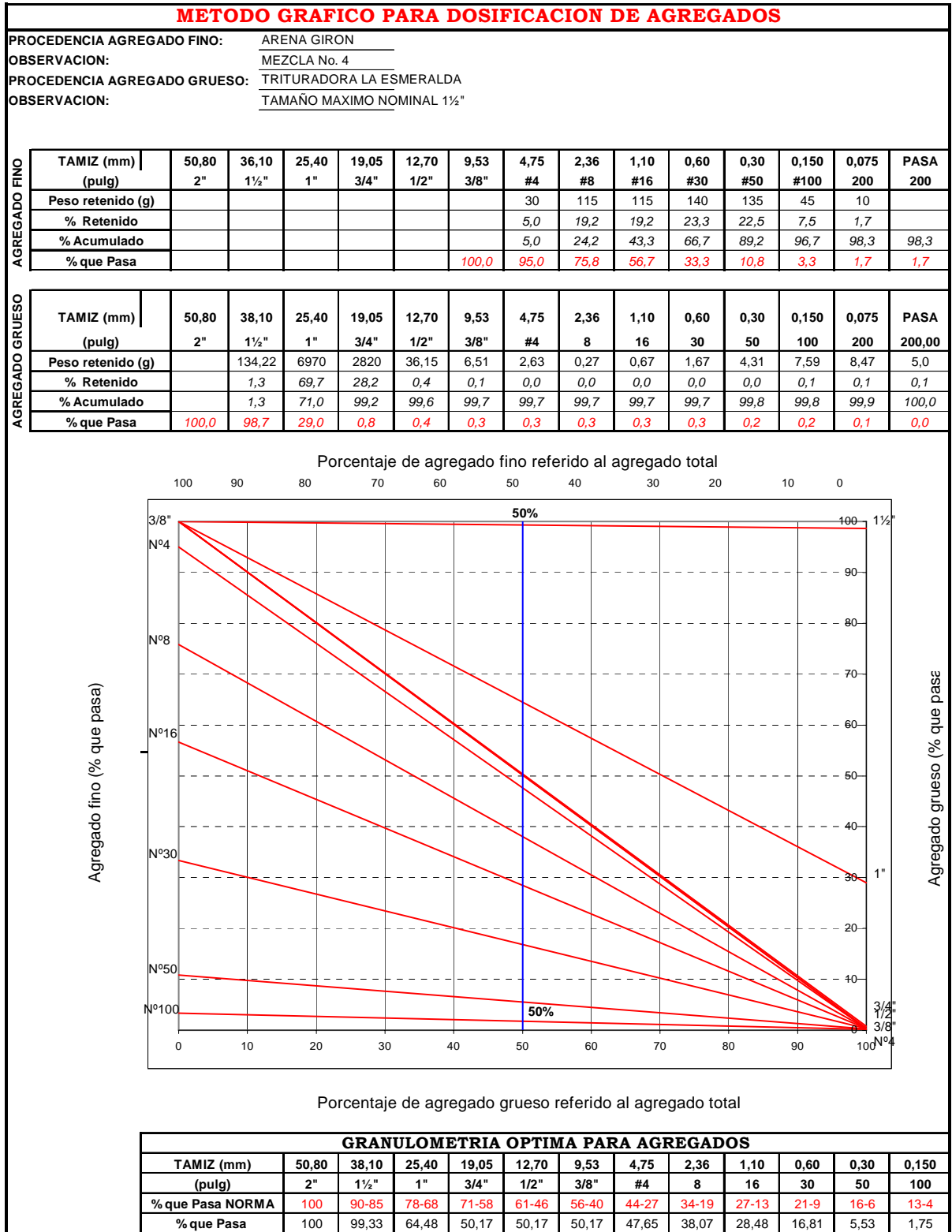
15, las combinaciones de agregados gruesos y finos en la realización de las dosificaciones de concreto.

TABLA 15. Tamaños de los agregados de acuerdo a la mezcla de diseño.

FUENTE	MEZCLA NO.	TAMAÑO APARENTE	TAMAÑO MÁXIMO	TAMAÑO NOMINAL	ARENA
ESMERALDA	1				Girón
	2	¾"	1 1/2"	1 1/2"	Bocas
	3				Pescadero
	4				Girón
	5	1"	2"	1 1/2"	Bocas
	6				Pescadero
	7				Girón
	8	Combinado	2"	-	Bocas
	9	¾" – 1"			Pescadero
TESORO	10				Girón
	11	¾"	1 1/2"	1"	Bocas
	12				Pescadero
	13				Girón
	14	1"	2"	1 1/2"	Bocas
	15				Pescadero
	16				Girón
	17	Combinado	2"	-	Bocas
	18	¾" – 1"			Pescadero
CRISTAL	19				Girón
	20	¾"	1 1/2"	1"	Bocas
	21				Pescadero
	22				Girón
	23	1"	1 1/2"	1 1/2"	Bocas
	24				Pescadero
	25				Girón
	26	1 ½"	2"	1 1/2"	Bocas
	27				Pescadero
PESCADERO	28	¾"	1"	1"	Pescadero
	29	1"	1 1/2"	1 1/2"	Pescadero

La optimización granulométrica se hace siguiendo el Método Gráfico de combinación de agregados gruesos y finos.

TABLA 16. Procedimiento gráfico de combinación de agregados.



Se obtiene una proporción de agregados de 50% gruesos y 50% finos.

- *Volúmenes por metro cúbico:* Con los datos de densidad aparente seca, calculada en el capítulo 3, se determina el volumen de los componentes de la mezcla.

TABLA 17. Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de concreto.

Componente	Peso Seco kg/m ³	Peso Específico g/cm ³	Volumen Absoluto l/m ³
Cemento	420	3.07	137
Agua	168	1.00	168
Cont. de aire	---	---	---
Agregado grueso	881	2.49	354
Agregado fino	881	2.58	341
	2350		1000

Para hallar los volúmenes absolutos de los agregados se cálculo primero el peso seco de los dos agregados:

$$V_{\text{agregados}} = 1000 - (137 + 168 + 0) = 695 \text{ litros}$$

Donde el peso seco de los dos agregados combinados (Ps) es:

$$P_s = 695 * (2,53) = 1762 \text{ kg/m}^3$$

De acuerdo al porcentaje de cada agregado se calcula su peso seco:

$$P_{\text{ag}} = 1762 (0.5) = 881 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{\text{af}} = 1762 (0.5) = 881 \text{ kg/m}^3$$

- *Ajuste por humedad de los agregados:* Como los agregados en su estado natural no se encuentran completamente secos, se debe considerar la humedad y a su peso seco hay que aumentarles el porcentaje de agua que contengan, tanto la absorbida como la superficial.

Como la humedad del agregado grueso es del 1.18% y la del agregado fino del 3.28%, se calculan los pesos húmedos:

$$\text{Peso húmedo A. Grueso} = 881 (1+0,0118) = 891,27 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso húmedo A. Fino} = 881 (1 + 0,0328) = 909,77 \text{ kg/m}^3$$

- *Agua Libre:* Para evitar excesos o déficit en los contenidos de agua de mezclado, se debe reducir una cantidad igual a la humedad libre que contengan los agregados. Como la absorción del agregado grueso es de 2.39% y del agregado fino es de 0.49%, se tiene:

$$AI = Ps * (H-A)$$

$$AI = - 881 (0.0118 - 0.0239) - 881(0.0328 - 0.0049)$$

$$AI = -13.92 \text{ kg/m}^3$$

Con esto se deduce que el requerimiento de agua de mezclado corregida al hacer la dosificación debe ser:

$$168 - 13.92 = 154.08 \text{ kg/m}^3$$

TABLA 18. Peso ajustado y proporción en volumen suelto de los ingredientes por metro cúbico de concreto.

Componente	Peso Seco Ajustado kg/m ³	Peso Unitario Suelto g/cm ³	Proporción en Volumen Suelto l/m ³
Cemento	420	1.40	300
Agua	154	1.00	154
Cont. de aire	---	---	---
Agregado grueso	891.27	1.43	623
Agregado fino	909.77	1.65	552
	2375		1630

En las tablas siguientes se presentan los resúmenes de los diseños propuestos con las diferentes combinaciones de agregados gruesos y finos.

TABLA 19. Dosificaciones de las mezclas de concreto con Agregados de la Trituradora la Esmeralda.

Parámetro	Unidad	Esmeralda 3/4"			Esmeralda 1 "			Esmeralda combinado		
		Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tamaño Máximo	pulg	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"
Tamaño Nominal	pulg	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	-	-	-
Contenido de Aire	%	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Contenido de Agua de Mezclado	kg/m3	179	179	179	168	168	168	168	168	168
Contenido de Cemento	kg/m3	448	448	448	420	420	420	420	420	420
Dosificación Agregado Grueso	%	54	58	55	50	52	46	64	66	64
Dosificación Agregado Fino	%	46	42	45	50	48	54	36	34	36
Densidad Aparente Finos	gr/cm3	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6
Densidad Aparente Gruesos	gr/cm3	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
Densidad Aparente seca Mezcla	gr/cm3	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54
Peso seco agregados combinados	kg/m3	1705	1677	1710	1705	1731	1772	1749	1727	1754
Peso Seco Mezcla										
Cemento	kg/m3	448	448	448	420	420	420	420	420	420
Agua	kg/m3	179	179	179	168	168	168	168	168	168
Cont. de aire	kg/m3	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Agregado grueso	kg/m3	921	973	941	881	900	815	1119	1140	1122
Agregado fino	kg/m3	784	705	770	881	831	957	630	587	631
Total	kg/m3	2333	2304	2337	2350	2319	2360	2337	2315	2342
Volumen Absoluto										
Cemento	l/m3	146	146	146	137	137	137	137	137	137
Agua	l/m3	179	179	179	168	168	168	168	168	168
Cont. de aire	l/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso	l/m3	371	392	379	354	361	327	451	459	452
Agregado fino	l/m3	304	283	296	341	334	368	244	236	243
Total	l/m3	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso Húmedo (Ajustado)										
Cemento	kg/m3	448	448	448	420	420	420	420	420	420
Agua	kg/m3	157,95	178,85	164,15	154,08	177,68	158,37	152,71	169,46	157,42
Cont. de aire	kg/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso (H=1,18,A=2,39)	kg/m3	931,55	984,38	951,65	891,27	910,76	824,51	1132,5	1153,2	1135,5
Agregado fino (H=3,28,A=0,49)	kg/m3	810,02	718,22	790,09	909,77	847,06	982,12	650,27	598,57	648,16
Peso Unitario	kg/m3	2347,52	2329,5	2353,89	2375,12	2355,5	2385	2355,48	2341,23	2361,08

TABLA 20. Dosificaciones de las mezclas de concreto con Agregados de la Trituradora El Tesoro.

Parámetro	Unidad	Tesoro 3/4"			Tesoro 1 "			Tesoro combinado		
		Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamaño Máximo	pulg	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"
Tamaño Nominal	pulg	1"	1"	1"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	-	-	-
Contenido de Aire	%	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5
Contenido de Agua de Mezclado	kg/m3	420	420	420	448	448	448	420	420	420
Contenido de Cemento	kg/m3	168	168	168	179	179	179	168	168	168
Dosificación Agregado Grueso	%	46	47	44	50	53	50	62	65	62
Dosificación Agregado Fino	%	54	53	56	50	47	50	38	35	38
Densidad Aparente Finos	gr/cm3	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6
Densidad Aparente Gruesos	gr/cm3	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
Densidad Aparente seca Mezcla	gr/cm3	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54
Peso seco agregados combinados	kg/m3	1790	1757	1798	1732	1703	1739	1782	1760	1788
Peso Seco Mezcla										
Cemento	kg/m3	420	420	420	448	448	448	420	420	420
Agua	kg/m3	168	168	168	179	179	179	168	168	168
Cont. de aire	kg/m3	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5
Agregado grueso	kg/m3	824	826	791	866	902	869	1105	1144	1108
Agregado fino	kg/m3	967	931	1007	866	800	869	677	616	679
Total	kg/m3	2378	2345	2386	2360	2329	2365	2371	2348	2376
Volumen Absoluto										
Cemento	l/m3	137	137	137	146	146	146	137	137	137
Agua	l/m3	168	168	168	179	179	179	168	168	168
Cont. de aire	l/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso	l/m3	320	321	308	340	354	340	433	448	434
Agregado fino	l/m3	375	374	387	336	321	334	263	247	261
Total	l/m3	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso Húmedo (Ajustado)										
Cemento	kg/m3	420	420	420	448	448	448	420	420	420
Agua	kg/m3	148,36	173,99	154,53	160,81	184,06	167,26	157,16	175,41	162,22
Cont. de aire	kg/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso (H=1,18,A=2,39)	kg/m3	825,56	827,64	793,13	868,04	904,53	871,37	1107,7	1146,6	1110,9
Agregado fino (H=3,28,A=0,49)	kg/m3	998,52	949,18	1033,9	894,36	815,78	892,49	699,51	627,9	697,4
Total	kg/m3	2392,44	2370,8	2401,56	2371,21	2352,37	2379,12	2384,37	2369,91	2390,52

TABLA 21. Dosificaciones de las mezclas de concreto con Agregados de la Trituradora El Cristal.

Parámetro	Unidad	Cristal 3/4"			Cristal 1 "			Cristal 1 1/2"		
		Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero	Girón	Bocas	Pescadero
		19	20	21	22	23	24	25	26	27
Tamaño Máximo	pulg	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	2"	2"
Tamaño Nominal	pulg	1"	1"	1"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	-	-	-
Contenido de Aire	%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
Contenido de Agua de Mezclado	kg/m3	179	179	179	179	179	179	168	168	168
Contenido de Cemento	kg/m3	448	448	448	448	448	448	420	420	420
Dosificación Agregado Grueso	%	57	53	57	52	52	48	50	52	55
Dosificación Agregado Fino	%	43	47	43	48	48	52	50	48	45
Densidad Aparente Finos	gr/cm3	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6	2,58	2,49	2,6
Densidad Aparente Gruesos	gr/cm3	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
Densidad Aparente seca Mezcla	gr/cm3	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54	2,53	2,49	2,54
Peso seco agregados combinados	kg/m3	1707	1681	1712	1714	1685	1723	1776	1745	1780
Peso Seco Mezcla										
Cemento	kg/m3	448	448	448	448	448	448	420	420	420
Agua	kg/m3	179	179	179	179	179	179	168	168	168
Cont. de aire	kg/m3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
Agregado grueso	kg/m3	973	891	976	891	876	827	888	908	979
Agregado fino	kg/m3	734	790	736	823	809	896	888	938	801
Total	kg/m3	2335	2308	2340	2342	2311	2351	2365	2435	2369
Volumen Absoluto										
Cemento	l/m3	146	146	146	146	146	146	137	137	137
Agua	l/m3	179	179	179	179	179	179	168	168	168
Cont. de aire	l/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso	l/m3	391	358	392	356	350	331	351	359	387
Agregado fino	l/m3	284	317	283	319	325	345	344	336	308
Total	l/m3	1000	1000	1000	1000	1000	1001	1000	1000	1000
Peso Húmedo (Ajustado)										
Cemento	kg/m3	448	448	448	448	448	448	420	420	420
Agua	kg/m3	164,75	183,55	170,23	161,93	183,6	166,18	149,09	172,77	158,14
Cont. de aire	kg/m3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agregado grueso (H=1,18,A=2,39)	kg/m3	980,15	897,7	983,34	897,66	882,6	832,94	894,68	914,4	986,57
Agregado fino (H=3,28,A=0,49)	kg/m3	758,06	805,6	756,03	849,5	824,46	919,63	917,15	854,08	822,55
Total	kg/m3	2350,96	2334,9	2357,6	2357,09	2338,66	2366,75	2380,92	2361,25	2387,26

TABLA 22. Dosificaciones de las mezclas de concreto con Agregados de la Trituradora Avendaño-Sáenz.

Parámetro	Unidad	Pescadero 3/4"	Pescadero 1 "
		Arena Pescadero	Arena Pescadero
		28	29
Tamaño Máximo	pulg	1 "	1 1/2 "
Tamaño Nominal	pulg	1 "	1 1/2 "
Contenido de Aire	%	1,5	1,5
Contenido de Agua de Mezclado	kg/m3	192	179
Contenido de Cemento	kg/m3	480	448
Dosificación Agregado Grueso	%	52	50
Dosificación Agregado Fino	%	48	50
Densidad Aparente Finos	gr/cm3	2,6	2,6
Densidad Aparente Gruesos	gr/cm3	2,64	2,64
Densidad Aparente seca Mezcla	gr/cm3	2,62	2,62
Peso seco agregados combinados	kg/m3	1708	1769
Peso Seco Mezcla			
Cemento	kg/m3	480	448
Agua	kg/m3	192	179
Cont. de aire	kg/m3	1,5	1,5
Agregado grueso	kg/m3	888	885
Agregado fino	kg/m3	820	885
Total	kg/m3	2380	2396
Volumen Absoluto			
Cemento	l/m3	156	146
Agua	l/m3	192	179
Cont. de aire	l/m3	-	-
Agregado grueso	l/m3	336	335
Agregado fino	l/m3	315	340
Total	l/m3	1000	1000
Peso Húmedo (Ajustado)			
Cemento	kg/m3	480	448
Agua	kg/m3	167,55	159,45
Cont. de aire	kg/m3	-	-
Agregado grueso (H=1,18,A=2,39)	kg/m3	903,12	893,35
Agregado fino (H=3,28,A=0,49)	kg/m3	841,6	908,12
Peso Unitario Concreto	kg/m3	2392,27	2408,92

4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO

A partir de las dosificaciones elaboradas se obtuvo el costo por metro cúbico de cada una de las mezclas, teniendo en cuenta los precios de cada uno de los materiales.

- Cemento Boyacá Tipo I Pórtland Especial = \$ 11.675 bulto

TABLA 23. Precios de Agregado Grueso

FUENTE	TAMAÑO APARENTE	Tamaño Máximo	Tamaño Nominal	PUESTO EN OBRA (\$/m3)
EL TESORO	3/4"	1 1/2"	1"	40.000
	1"	2"	1 1/2"	40.000
LA ESMERALDA	1 1/2"	2 1/2"	2"	42.000
	1"	2"	1 1/2"	42.000
	3/4"	1 1/2"	1 1/2"	42.000
EL CRISTAL	1 1/2"	2"	1 1/2"	40.000
	1"	1 1/2"	1 1/2"	40.000
	3/4"	1 1/2"	1"	40.000
PESCADERO	1"	1 1/2"	1 1/2"	50.000
	3/4"	1"	1"	50.000

TABLA 24. Precios de Agregado Fino

ARENA	PUESTO EN OBRA (\$/m3)
GIRON	\$ 22.000
BOCAS	\$ 26.000
PESCADERO	\$ 30.000

TABLA 25. Costo del concreto por metro cúbico

FUENTE	MEZCLA	TAMAÑO APARENTE	ARENA	Costo por metro cúbico
ESMERALDA	1	3/4"	Girón	\$ 141.550,02
	2		Pescadero	\$ 144.423,01
	3		Bocas	\$ 145.362,29
	4	Girón	\$ 136.397,66	

FUENTE	MEZCLA	TAMAÑO APARENTE	ARENA	Costo por metro cúbico
ESMERALDA	5	1"	Pescadero	\$ 139.013,17
	6		Bocas	\$ 140.581,69
	7	Combinado	Girón	\$ 137.257,08
	8		Pescadero	\$ 140.455,10
	9		Bocas	\$ 141.167,65
TESORO	10	3/4"	Girón	\$ 141.038,57
	11		Pescadero	\$ 145.436,67
	12		Bocas	\$ 146.534,93
	13	1"	Girón	\$ 132.941,99
	14		Pescadero	\$ 137.582,89
	15		Bocas	\$ 138.750,59
	16	Combinado	Girón	\$ 138.252,41
	17		Pescadero	\$ 141.695,56
	18		Bocas	\$ 142.662,86
CRISTAL	19	3/4"	Girón	\$ 141.286,34
	20		Pescadero	\$ 145.012,78
	21		Bocas	\$ 145.120,68
	22	1"	Girón	\$ 139.305,01
	23		Pescadero	\$ 143.009,79
	24		Bocas	\$ 144.147,14
	25	1 1/2"	Girón	\$ 133.998,88
	26		Pescadero	\$ 139.179,21
	27		Bocas	\$ 139.469,81
PESCADERO	28	3/4"	Pescadero	\$ 155.468,28
	29	1"	Pescadero	\$ 157.912,65

5. SELECCIÓN DE LA MEZCLA

5.1 PRESELECCIÓN DE DOSIFICACIONES

De los diseños de mezcla propuestos anteriormente, se seleccionaron ocho de ellos para evaluar el comportamiento del concreto tanto en su estado fresco como endurecido. Los siguientes diseños fueron seleccionados:

TABLA 26. Diseños de mezclas seleccionados.

FUENTE	MEZCLA NO.	TAMAÑO APARENTE	TAMAÑO MÁXIMO	TAMAÑO NOMINAL	ARENA
ESMERALDA	E1	¾"	1 1/2"	1 1/2"	Girón
	E2	1"	2"	1 1/2"	Girón
	E3	Combinado	2"	-	Girón
CRISTAL	C1	¾"	1 1/2"	1"	Pescadero
	C2	1"	1 1/2"	1 1/2"	Pescadero
	C3	1 ½"	2"	1 1/2"	Pescadero
PESCADERO	P1	¾"	1"	1"	Pescadero
	P2	1"	1 1/2"	1 1/2"	Pescadero

El material de la Trituradora "El Tesoro" no se emplea en la elaboración de viguetas, debido a que en el momento la planta no contaba con material disponible. De las dos muestras tomadas de la fuente de Río Negro (arena de Bocas), no se utiliza ninguna de las dos, debido a que la muestra fina, presenta un módulo de finura muy bajo y no es recomendable desarrollar mezclas con arenas de este tipo, y la muestra gruesa, no se toma en cuenta ya que presenta características muy parecidas a la arena de Girón.

Los agregados producidos por la trituradora La Esmeralda se combinaron con la arena que se extrae del río de Oro en Girón, debido a que esta combinación es la

más económica de las otras combinaciones, también se pretende evaluar el comportamiento de la mezcla con materiales extraídos de la misma fuente.

Se toma la mezcla de los materiales de la trituradora “El Cristal” con la arena de Pescadero, para evaluar el desempeño de una mezcla intermedia que combina agregados de fuentes diferentes.

La combinación de los agregados de Pescadero es económicamente la más costosa, se tiene en cuenta en esta selección ya que los materiales presentaron muy buenas propiedades en su caracterización.

5.2 ENSAYOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de ejecutada la parte práctica del proyecto que consiste en la elaboración de cada una de las mezclas seleccionadas, se procede a realizar los ensayos para evaluar el comportamiento de estas. Debido a que todas las propiedades del concreto en estado endurecido dependen en gran parte de sus características en estado fresco, especialmente en los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminado; se tendrán como criterios para determinar el desempeño del concreto en estado fresco los siguientes :

- Manejabilidad
- Consistencia
- Segregación
- Exudación

Después de analizar las propiedades del concreto en estado plástico, se realizaron los ensayos de resistencia a flexión del concreto endurecido en dos etapas: la primera cuando el hormigón cuenta con 7 días de edad y la segunda cuando el hormigón cuenta con 28 días.

5.2.1 Descripción de los ensayos

- *Manejabilidad :*

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada, para el uso que se desea darle. Para cuantificar la trabajabilidad del hormigón se medirá el asentamiento a través del ensayo del cono de Abrams. Su ejecución está regulada por la NTC 396 y consiste básicamente en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla-pisón.

FOTO 12. Ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams.



Luego de retirar el molde, se mide el asentamiento que experimenta la masa de hormigón colocada en su interior. Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del cono de hormigón. De esta manera, la medida del asentamiento permite determinar, principalmente, la fluidez, y la forma de derrumbamiento permite apreciar la consistencia del hormigón.

FOTO 13. Medida del asentamiento.



- *Resistencia a la flexión:*

FOTO 14. Ensayo a flexión.



El procedimiento de ensayo se basa en la norma NTC y consiste en someter a una viga de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz de ensayo. Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$MR = \frac{P * L}{b * h^2}$$

Donde:

MR = Módulo de rotura (kgf/cm^2)

P = Carga máxima aplicada (N)

L = Luz de ensayo de la probeta (cm)

b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (cm)

h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura (cm)

FOTO 15. Falla de la viga en el tercio medio.



5.2.2 Interpretación y Análisis de Resultados

Se recopilan los resultados obtenidos en el laboratorio, con el fin de realizar el posterior análisis de los mismos y poder sacar conclusiones que de dicho análisis se deriven.

5.2.2.1 Mezcla Trituradora La Esmeralda

FOTO 16. Mezcla E1



FOTO 17. Mezcla E2



FOTO 18. Mezcla E3



Durante el proceso de elaboración de las mezclas se observó:

- En cuanto a consistencia se puede observar que la mezcla E1 tuvo una alta fluidez, la E2 fluidez normal, facilitando la trabajabilidad en los procesos de colocación, compactación y terminado, mientras que la mezcla E3 presento una consistencia seca.

- Una de las posibles causas para que la mezcla E3 se encontrara en este estado fue la cantidad de agua de mezclado que no es suficiente para producir la pasta lubricante de los agregados impidiendo la movilidad en estado plástico.
- No se presento exudación ni segregación en las tres mezclas durante todo el proceso de llenado de las formaletas, teniendo en cuenta que el tiempo aproximado para estas actividades fue de 30 minutos.
- Se realizo el ensayo de asentamiento usando el cono de Abrams dando como resultados 130mm (5,2") para la mezcla E1, 107mm (4.2") para la segunda y 40mm (1.57") para la ultima.
- El asentamiento obtenido para la mezcla E3 se encuentra por debajo del rango establecido por el INVIAS para pavimento rígido razón por la cual se descarta esta mezcla, a pesar de que la mezcla E1 también se encuentra por fuera de este rango se considera una mezcla aceptable ya que la diferencia no es significativa y sus propiedades fueron excelentes.
- Teniendo en cuenta que se experimento con la combinación de tamaños de agregado grueso con la mezcla E3 con el fin de obtener una mejor gradación, se observo que esta mezcla presenta excesos de vacíos dando una apariencia porosa en el concreto (ver Foto 19), se recomienda aumentar la cantidad de agua de mezclado y cemento; en cuanto a la combinación de agregados fino-grueso realizar un ajuste llevando el porcentaje hacia el limite fino con la finalidad de obtener mayor cantidad de mortero que pueda llenar los espacios dejados por la gradación del agregado grueso y mejore la manejabilidad.

Foto 19. Apariencia vigas mezcla E3 Trituradora La Esmeralda.



Se fallaron viguetas a los 7 y 28 días, los resultados de la resistencia a la flexión se encuentran en la Tabla 27.

TABLA 27. Ensayo de Flexión y resultados de Módulos de Elasticidad Mezclas Trituradora La Esmeralda




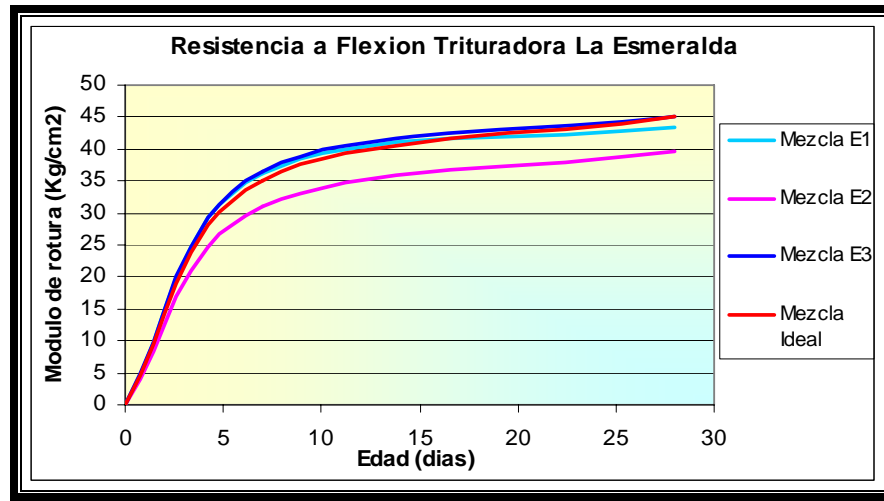
CARACTERISTICAS	EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA		MODULO ROTURA		FOTOGRAFIA DESPUES DE FALLADA	
		(KN)	PROMEDIO	(Kg/cm2)	PROMEDIO		
MEZCLA E1 FECHA TOMA: 27/03/06	7	25,63	27,16	34,17	36,21		
		28,69		38,25			
		27,16		36,21			
	28	31,34	32,50	41,79	43,33		
		32,7		43,60			
		33,46		44,61			
	Masa Unitaria (Kg/m3) =		2347,52	f'c=	300,44	Ec=	265596,08
	MEZCLA E2 FECHA TOMA: 27/03/06	7	23,96	23,29	31,95	31,05	
			22,60		30,13		
			23,30		31,07		
28		31,47	29,67	41,96	39,56		
		27,85		37,13			
		29,7		39,60			
Masa Unitaria (Kg/m3) =		2329,32	f'c=	250,46	Ec=	239681,45	
MEZCLA E3 FECHA TOMA: 28/03/06		7	28,32	27,39	37,76	36,52	
			26,44		35,25		
			27,40		36,53		
	28	32,54	33,92	43,39	45,23		
		35,29		47,05			
		33,93		45,24			
	Masa Unitaria (Kg/m3) =		2353,89	f'c=	327,27	Ec=	278329,63

FIGURA 16. Resistencia a la Flexión mezclas trituradora La Esmeralda



De acuerdo a los resultados presentados en la tabla y gráfico anterior, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La falla de las viguetas en las tres mezclas ocurrió dentro del tercio medio de la luz libre.
- La mezcla E1 presenta residuos de ladrillo actuando como parte del agregado grueso, se debe controlar la cantidad de este material dentro de la matriz pasta-agregado ya que por tener propiedades diferentes como la densidad, dureza, absorción entre otros puede llegar a afectar de manera perjudicial al concreto en su resistencia o durabilidad cuando están expuestas a la abrasión.
- En la mezclas E2 y E3, al igual que en la mezcla E1 se observaron huellas en la pasta de cemento ocasionadas por el desprendimiento del agregado grueso por falta de adherencia de este con los otros materiales, esto se debe en gran parte porque el material proveniente de esta trituradora tiene excesos de polvo en su superficie, lo que se recomienda controlar esta característica antes de preparar la mezcla.
- En cuanto a la resistencia la mezcla E3 es la única que cumple con las condiciones planteadas en este proyecto, pero se descarta para el ajuste de la

mezcla final porque sus propiedades de manejabilidad, consistencia y apariencia no son las adecuadas para los requerimientos de pavimento rígido.

- A pesar de que las mezclas E1 y E2 presentan un comportamiento aceptable no se tendrán en cuenta para el ajuste del diseño debido que no llegan a la resistencia requerida a los 28 días.

5.2.2.2 Mezcla Trituradora El Cristal

FORO 20. Mezcla C1



FOTO 21. Mezcla C2



FOTO 22. Mezcla C3



Se observaron las siguientes características de las mezclas en su estado fresco:



- Las tres mezclas presentan una consistencia fluida proporcionando una manejabilidad adecuada en los procesos de llenado, compactación y terminado de las viguetas.
- Las mezclas C1 y C2 no presentaron exudación, mientras que la tercera si.; posiblemente porque la velocidad de evaporación presente fue menor que la

velocidad de exudación, presentándose este efecto en la superficie de la mezcla.

- Respecto a la segregación ninguna de las tres mezclas presentaron esta condición.
- Los resultados obtenidos por el ensayo de asentamiento para las mezclas C1, C2 y C3 fueron: 90mm(3.6"), 120mm(4.72"), 80mm(3.15") respectivamente.
- La apariencia de las viguetas elaboradas por estas mezclas fue aceptable porque no presentaron exceso de poros, esto corrobora que las propiedades del concreto en estado fresco fueron muy buenas.

Los resultados obtenidos por los ensayos de flexión se encuentran tabulados en la siguiente tabla:

TABLA 28. Ensayo de Flexión y resultados de Módulos de Elasticidad Mezclas Trituradora El Cristal

CARACTERISTICAS	EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA		MODULO ROTURA		FOTOGRAFIA DESPUES DE FALLADA		
		(KN)	PROMEDIO	(Kg/cm ²)	PROMEDIO			
MEZCLA C1 FECHA TOMA: 29/03/06	7	31,26	32,79	41,68	43,72			
		34,32		45,76				
		32,80		43,73				
	28	37,3	37,30	49,73	49,73			
		35,9		47,87				
		38,7		51,60				
	Masa Unitaria (Kg/m³) =		2357,60	f'c=	395,74		Ec= (Kg/cm²)	306788,00
	MEZCLA C2 FECHA TOMA: 30/03/06	7	31,31	30,84	41,75		41,12	
			30,36		40,48			
			30,85		41,13			
28		31,87	32,09	42,49	42,79			
		32,3		43,07				
		32,1		42,80				
Masa Unitaria (Kg/m³) =		2366,75	f'c=	292,91	Ec= (Kg/cm²)	265474,40		


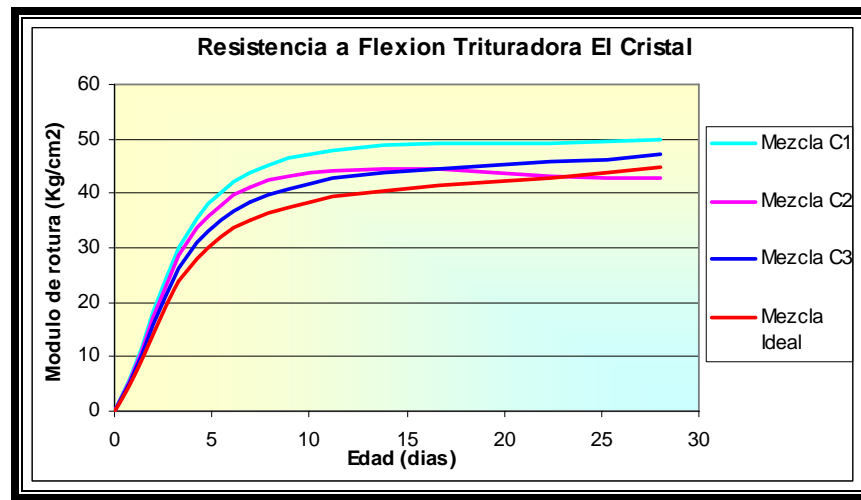
MEZCLA C3 FECHA TOMA: 29/03/06	7	26,43	28,90	35,24	38,53	
		31,36		41,81		
		28,91		38,55		
	28	33,76	35,29	45,01	47,05	
		36,81		49,08		
		35,3		47,07		
Masa Unitaria (Kg/m3) =		2387,26	f'c=	354,24	Ec=	295750,57
					(Kg/cm2)	

FIGURA 17. Resistencia a la Flexión mezclas trituradora El Cristal



De acuerdo a los resultados del ensayo realizados para hallar la resistencia a flexión de los diseños establecidos la anterior tabla y presentados en el grafico se pueden sacar las siguientes observaciones:

- Al igual que las mezclas elaboradas con agregados de La esmeralda las viguetas fallaron dentro del tercio medio de la luz libre.
- La mezcla C2 presenta un incremento del 3.7% de resistencia después de los 7 días, mientras que las mezclas C1 y C3 tienen un incremento del orden de 13,5% y 19% respectivamente.

- Las viguetas falladas por la mezcla C2 presentan huellas dejadas por falta de adherencia entre el agregado y la matriz de cemento.
- Las mezclas C1 y C3 alcanzan la resistencia de 45 Kg/cm² a los 28 días.
- A pesar de que la mezcla C1 y C2 contenían la misma cantidad de cemento de 448 Kg/m³, la mezcla C2 no alcanzo la resistencia requerida a los 28 días, se debió principalmente a la gradación obtenida. Ambas mezclas presentaron tamaños máximos de 1½” pero tamaños máximos nominales de 1” para la primera y 1½” para la segunda. Se puede concluir que el hecho de utilizar agregados de tamaños más grandes no garantiza aumento de resistencia.

5.2.2.3 Mezcla Trituradora Avendaño-Sáenz

FOTO 23. Mezcla P1



FOTO 24. Mezcla P2



Durante el proceso de preparación de la mezcla se pudieron observar algunas características tales como:

- En cuanto a consistencia se puede decir que la mezcla P1 se encontraba en un estado de fluidez normal, mientras que la segunda tuvo una alta fluidez, esta característica determina el grado de trabajabilidad en la mezcla, el cual fue muy bueno facilitando los procesos de llenado y compactación.
- Se realizo el ensayo de asentamiento en las mezclas consiguiendo resultados de 80mm (3.15”) y 120 mm (5.51”) para las dos mezclas.
- Se pudo observar durante el proceso de mezclado que el agregado fino de la mezcla P2 se encontraba con una humedad mayor de la prevista en el diseño,

debido a las condiciones ambientales de los días en que se tomaron y mezclaron las pruebas, esto ocasiono la alta fluidez .

- La mezcla P2 tuvo un alto valor dentro del rango de asentamiento, las razones que ocasionaron este efecto pueden llegar a ser controladas mediante un ajuste en el diseño.
- Las mezclas no presentaron exudación ni segregación.

Los resultados obtenidos por los ensayos de resistencia en las mezclas endurecidas se encuentran en la siguiente tabla:

TABLA 29. Ensayo de flexión y resultados de módulos de elasticidad Mezclas trituradora Avendaño-Sáenz.



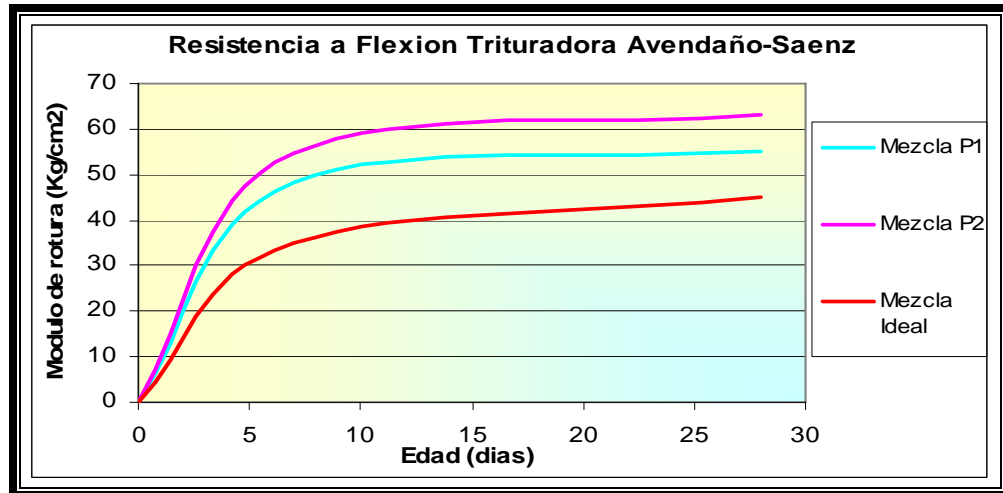
CARACTERISTICAS	EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA		MODULO ROTURA		FOTOGRAFIA DESPUES DE FALLADA
		(KN)	PROMEDIO	(Kg/cm ²)	PROMEDIO	
MEZCLA P1 FECHA TOMA: 03/04/2006	7	34,36	36,27	45,81	48,36	
		38,16		50,88		
		36,30		48,40		
	28	40,96	41,31	54,61	55,08	
		41,66		55,55		
		41,3		55,07		
Masa Unitaria (Kg/m³) =		2392,27	f'c=	485,33	Ec= (Kg/cm²)	347264,03
MEZCLA P2 FECHA TOMA: 03/04/2006	7	38,75	40,89	51,67	54,52	
		42,93		57,24		
		41,00		54,67		
	28	48,84	47,25	65,12	63,00	
		45,65		60,87		
		47,25		63,00		
Masa Unitaria (Kg/m³) =		2408,92	f'c=	634,95	Ec= (Kg/cm²)	401355,39

FIGURA 18. Resistencia a la Flexión mezclas trituradora Avendaño-Sáenz



De acuerdo a la tabla y grafica de resultados se puede concluir:

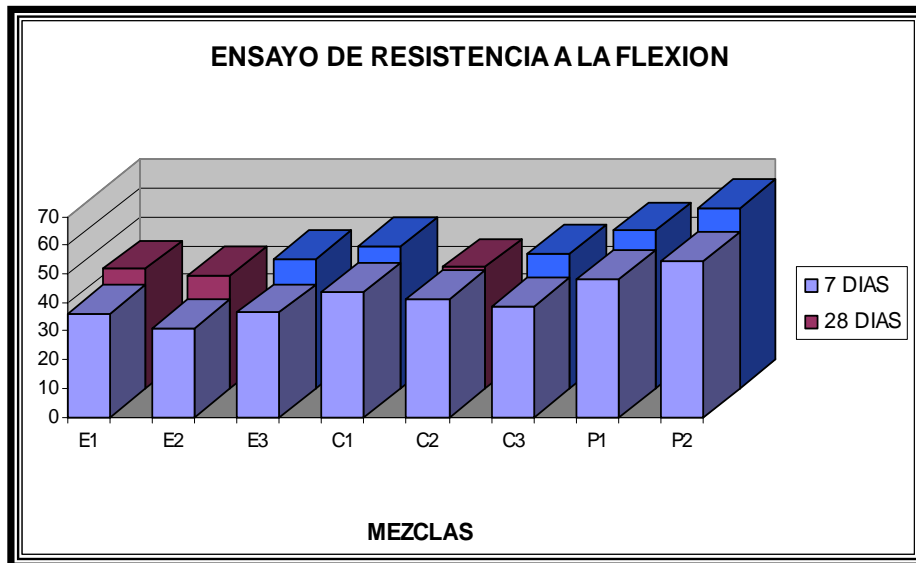
- La falla se produjo dentro del tercio medio de la vigueta de manera homogénea, es decir, la fractura se produjo tanto en la pasta de mortero como por los agregados.
- No hubo desprendimiento de agregados, esto se debe a que el material procedente de esta planta viene lavado, lo que reduce el contenido de polvo e impurezas.
- Los valores obtenidos para la resistencia a los 7 como a los 28 días alcanzaron el valor establecido para este proyecto, mostrando la efectividad de la mezcla y demostrando que los materiales de esta trituradora poseen mejores propiedades de dureza y resistencia que los demás.
- Se consiguió la resistencia especificada a los 7 días, incrementándose aproximadamente un 14% a los 28 días, se concluye que a partir de estos resultados se puede hacer una reducción de sus componentes.
- Altos contenidos de cemento no garantizan una mayor resistencia, ya que la mezcla P1 contenía 7% más de cemento que la P2. Se observó en este caso que lo que determina un mejor resultado, es la adecuada interacción entre los diferentes componentes, es decir lograr una combinación de agregados

gruesos y finos adecuada que logre la mayor densidad en la mezcla para así obtener mejores resultados en cuanto a resistencia a flexión.

5.3 SELECCIÓN DE LA MEZCLA FINAL

El parámetro principal tenido en cuenta para la selección de la mezcla final fue alcanzar la resistencia a flexión especificada para este proyecto.

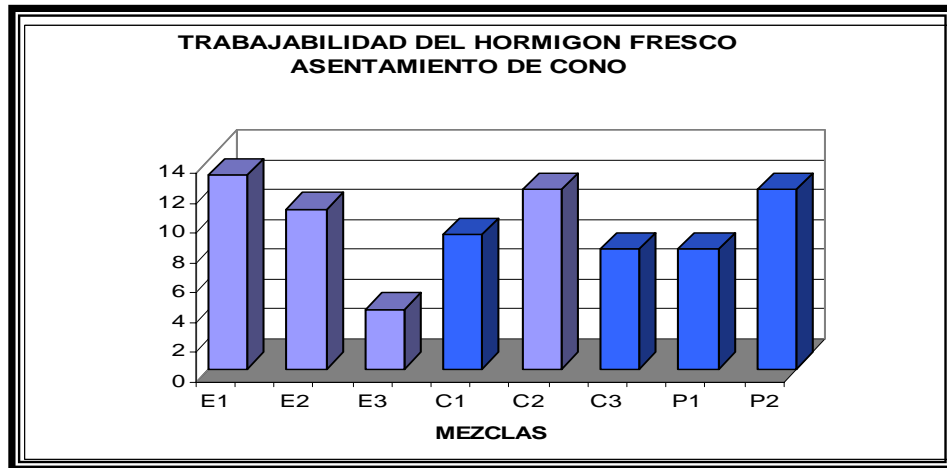
FIGURA 19. Resultados Resistencia a Flexión mezclas preseleccionadas



De acuerdo al gráfico anterior, se observa que las mezclas E3, C1, C3, P1 y P2 alcanzan con la especificación de resistencia a los 28 días de 45 Kg/cm².

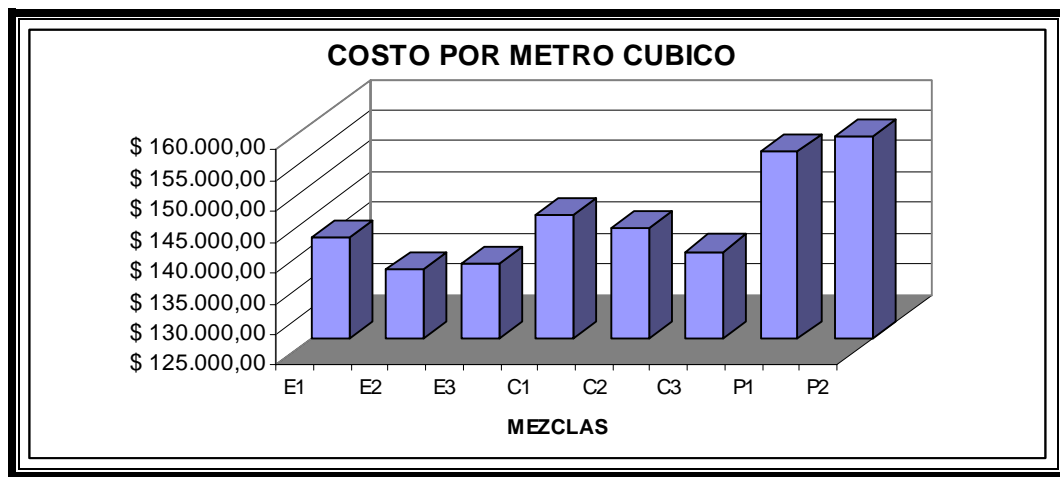
Aunque la manejabilidad no es el parámetro principal en esta selección, también se debe tener en cuenta ya que facilita los procesos de colocación, compactación y terminado entre otros. Según la figura 20 se observa que C1, C3, P1 y P2 se encuentran entre el rango de asentamiento establecido para el diseño de mezclas.

FIGURA 20. Resultados de trabajabilidad en las mezclas preseleccionadas



El análisis económico realizado para las mezclas preseleccionadas arrojó los siguientes resultados:

FIGURA 21. Costos por metro cúbico mezclas preseleccionadas



Aunque la mezcla P2 es la que presenta mayores costos por metro cúbico, se decide seleccionar como la mezcla final ya que registra los valores mas altos en resistencia para las dos edades del hormigón, siendo estos de 54,52 kg/cm² para los 7 días y 63,00 kg/cm² para los 28 días, presentando una diferencia alta en la resistencia en comparación con la requerida; esta diferencia permite realizar un ajuste mucho mas optimo que el de las otras.

6. AJUSTE DE LA FORMULA

La mezcla seleccionada en el capítulo anterior fue la mezcla P2, conformada por los materiales de la trituradora de Pescadero, por presentar las mejores propiedades en cuanto a comportamiento mecánico y manejabilidad, pero por su alto contenido de cemento (448 kg/m^3) y el precio de sus agregados que provienen de la fuente de explotación más lejana, representa la opción más costosa de los diseños realizados.

La idea de ajustar esta mezcla es disminuir las cantidades de cemento por metro cúbico de concreto y aprovechar las excelentes propiedades de los agregados y con esto disminuir los costos, haciendo más versátil la mezcla, tanto funcional como económicamente.

6.1 METODOLOGÍA EMPLEADA

Para esto se realiza un procedimiento en el cual se tiene en cuenta la resistencia lograda por la pasta de cemento a los 7 y los 28 días, para determinar la proporción de resistencia que otorga cada kilogramo dentro de la mezcla.

TABLA 30. Resistencias de la pasta de cemento

Cemento Especial Concretera Pórtland Tipo I (EDG)				
	Resistencia a la Compresión		Resistencia a la Flexión	
	MPa	Kg/cm²	MPa	MR (kg/cm²)
7 Días	36.6	366	4.8	47.82
28 Días	46.6	466	5.4	53.97

La pasta de cemento logra tener resistencias a la compresión de hasta 46.6 MPa, esto expresado en resistencia a la flexión representa 53.97 kg/cm², pero hay que tener en cuenta que el agregado a flexión aporta parte de la resistencia

Para la muestra desarrollada, se tienen 448 kg/m³, logrando una resistencia de:

Resistencia a la flexión	a 7 días	54,52 kg/cm ²
	A 28 días	63,00 kg/cm ²

Con 448 kg de cemento se logra una resistencia de 63,00 kg/cm², luego se deduce que cada Kg de cemento aporta 7.11 kg/cm². Para obtener una mezcla con un módulo de rotura de 45 kg/cm², se requieren 320 kg de cemento para llegar a la resistencia especificada.

Como se trabaja con la misma dosificación se tiene en cuenta que al reducir la cantidad de cemento se reduce la cantidad de agua empleada, ya que la relación agua cemento se mantiene. Para evitar problemas con la fluidez y la manejabilidad de la mezcla se hace necesario el empleo de aditivos que mejoren esta propiedad.

6.2 ADITIVOS EMPLEADOS EN EL AJUSTE DE LA MEZCLA

6.2.1 Plastiment TM 5⁶

Plastiment TM 5 es un líquido, color café oscuro, reductor de agua; plastificante retardador del tiempo de fraguado del concreto. No contiene cloruros. Este tiene tres usos principales:

⁶ SIKA. MANUAL DE CONSTRUCCION. Edición 2003.

- *Como Plastificante:* Adicionándolo a una mezcla de consistencia normal se consigue incrementar notablemente su asentamiento sin tener que agregar agua ya que extiende el tiempo de manejabilidad y retarda el fraguado de la mezcla, facilitando el transporte, colocación, vibrado y acabado del concreto.
- *Como Reductor de agua:* Adicionándolo disuelto en el agua de amasado permite reducir hasta un 14% el agua de amasado, sin variar la manejabilidad inicial, obteniéndose un incremento notable de las resistencias mecánicas a todas las edades.
- *Como economizador de cemento:* Se puede aprovechar el incremento de resistencia logrado con la reducción de agua, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño de la mezcla.

La razón para emplear este aditivo es porque además de extender el tiempo de manejabilidad de la mezcla y permitir su transporte a grandes distancias, ayuda a dispersar el cemento uniformemente en toda la masa con lo cual se obtienen resistencias mayores al controlar el desprendimiento de calor de hidratación del cemento.

La dosificación⁷ recomendada por SIKA va del 0,2 al 0,6% del peso del cemento de la mezcla. La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra.

6.2.2 Sika ViscoCrete 1033

Es un aditivo de tercera generación, es decir, que cumple con el 100% del rendimiento cementicio. Es un aditivo apropiado para la producción de concreto premezclado a cualquier temperatura y que requieran muy largos tiempos de trabajabilidad o tiempo prolongado de colocación sin generar ningún tipos de retardos en los tiempos de fraguado con respecto a la mezcla patrón sin aditivo.

⁷ SIKA. MANUAL DE CONSTRUCCION. Edición 2003.

Las siguientes propiedades son obtenidas:

- Más largos tiempos de manejabilidad aún en climas cálidos.
- Capacidad reductora de agua extremadamente alta (50%), ofreciendo una muy alta densidad y baja permeabilidad en las mezclas.
- Mejora el desempeño ante la fluencia y reduce la retracción.

La dosificación recomendada oscila entre 0.6% y 2.5% del peso del cemento dependiendo de la fluidez o reducción de agua requerida.

6.3 INCIDENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA MEZCLA

6.3.1 Mezcla con Aditivo Sika Plastiment TM-5: Para evaluar la incidencia de los aditivos dentro de la mezcla se realiza en primera instancia un ensayo, en el que se compara una mezcla patrón sin aditivo con el efecto que produce sobre la misma mezcla la presencia de aditivos. Se evaluará primero el efecto del Sika Plastiment TM-5, debido a que este afecta la resistencia del concreto.

Para esto se elabora una mezcla partiendo de las dosificaciones establecidas para la mezcla P2, mostradas en la tabla 31.


TABLA 31. Dosificación de Componentes de la Mezcla P2

Peso Húmedo		
Cemento	kg/m ³	448
Agua	kg/m ³	159,45
Cont. de aire	kg/m ³	15
Agregado Grueso (H=1,18,A=2,39)	kg/m ³	893,35
Agregado Fino (H=3,28,A=0,49)	kg/m ³	908,12
Peso Unitario Concreto	kg/m ³	2423,92

FOTO 25. Mezcla P2 sin Aditivo**FOTO 26.** Mezcla P2 con aditivo

Se elaboran 3 viguetas sin aditivo y 3 adicionando 0.25% de aditivo sobre el peso del cemento, y se comparan las propiedades tanto en el estado plástico como en el estado endurecido. La mezcla de referencia presenta consistencia con los resultados obtenidos anteriormente de esta mezcla. El asentamiento obtenido por la mezcla sin aditivo, fue de 95 mm (3.7") presentando buenas características, pero durante el mezclado la mezcla con aditivo presento mejor manejabilidad, la consistencia se observa un poco más fluida manteniéndose dentro de los límites establecidos por las especificaciones de referencia 110 mm (4.3") y la apariencia es más homogénea, es decir, no se ve con excesos de mortero, ni de agregado grueso.

TABLA 32. Ensayo de flexión y resultados de módulos de elasticidad
Mezclas trituradora Avendaño-Sáenz con y sin aditivo.

CARACTERISTICAS	EDAD (DIAS)	CARGA MAXIMA		MODULO ROTURA		FOTOGRAFIA DESPUES DE FALLADA
		(KN)	PROMEDIO	(Kg/cm ²)	PROMEDIO	
MEZCLA P2 SIN ADITIVO 25/04/2006	7	39.48	40.09	52.54	53.42	
		41.97		55.96		
		38.83		51.77		
	28	46.33	45.48	61.77	60.64	
		45.27		60.36		
		44.85		59.80		
Masa Unitaria (Kg/m ³) =		2408.92	f'c=	588.35 psi	Ec= (Kg/cm ²)	31672,22


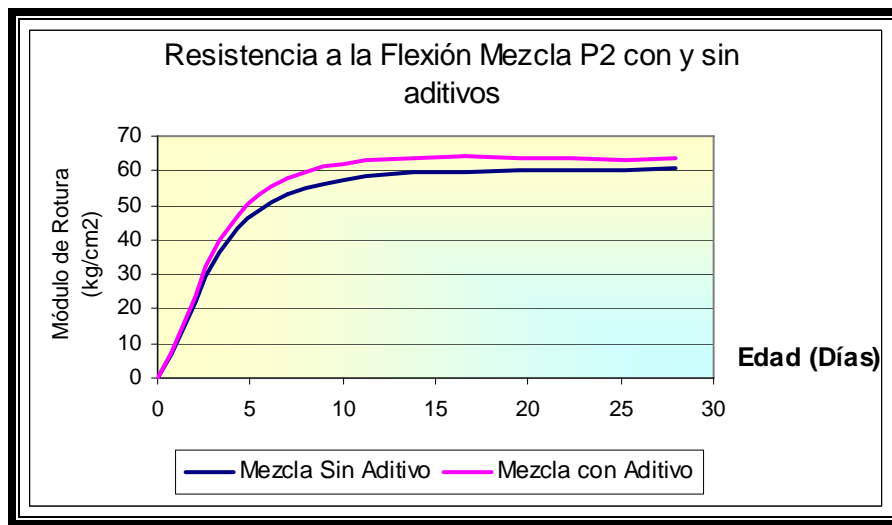
MEZCLA P2 CON ADITIVO 25/04/2006	7	43.64	43.42	58.19	57.89	
		41.84		55.78		
		44.77		59.69		
	28	48.64	47.75	64.86	63.68	
		47.53		63.38		
		47.09		62.79		
Masa Unitaria (Kg/m3) =		2408,92	f'c=	648.82 psi	Ec= (Kg/cm2)	41362,25

FIGURA 22. Resistencia a la Flexión mezclas P2 con y sin aditivo



De la tabla y el gráfico anterior se concluye:

- Al agregar el aditivo, se logra aumentar la resistencia a los 7 y los 28 días aproximadamente en un 7.66% y 5% respectivamente, lo que confirma que Plastiment TM-5 produce un incremento en la resistencia del concreto.
- La falla en ambas mezclas se produce en el tercio central de la vigueta, formando una superficie de falla en la que intervienen tanto el mortero como los agregados gruesos.
- Los acabados de las viguetas con aditivo mejoraron; se observó menos porosidad y una superficie más lisa.

- Los módulos de elasticidad aumentaron tanto a los 7 como a los 28 días, ya que depende de la resistencia que logre tener la mezcla en su estado endurecido.

6.3.2 Mezclas con Sika Plastiment TM-5 y Viscocrete 1033:

Dado que en el ensayo anterior logró verificar que la resistencia de la mezcla de concreto aumenta al adicionar el aditivo Sika Plastiment TM-5, se realiza nuevamente un ajuste en las cantidades de cemento a utilizar en la mezcla final. Si las resistencias aumentan aproximadamente un 5%, se puede reducir aún más las cantidades de cemento, con la finalidad de ajustar más los resultados a la resistencia especificada. Es por ello que se reduce un 5% más de cemento, es decir, que 15 kg de cemento se disminuyen en la dosificación final, quedando 305 kg por metro cúbico de concreto. En la tabla 33 se observan las cantidades a emplear en la mezcla de concreto ajustada.

TABLA 33. Dosificación de Componentes de la Mezcla P2 Ajustada

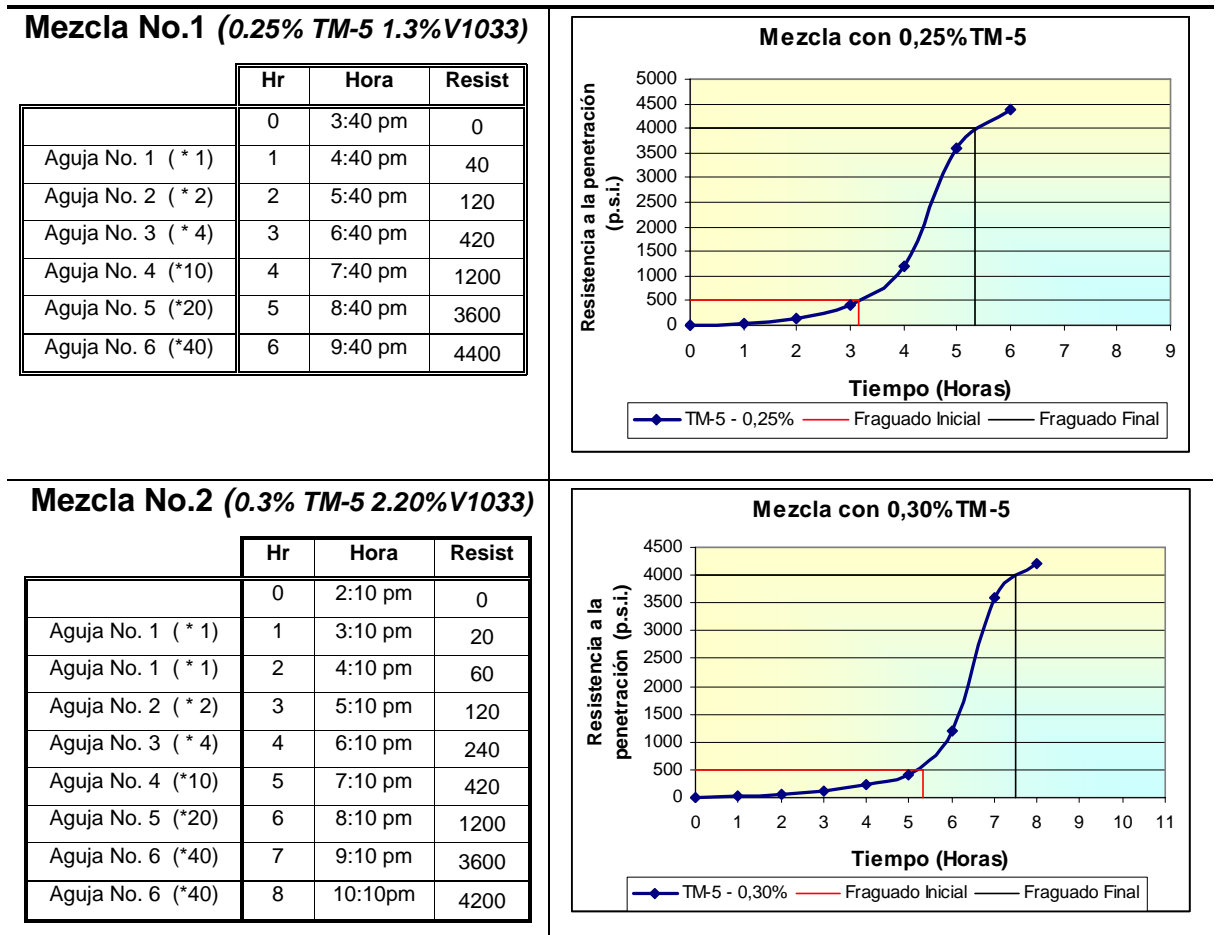
Peso Húmedo		
Cemento	kg/m ³	305
Agua	kg/m ³	99.89
Cont. de aire	kg/m ³	-
Agregado Grueso (H=1,18 - A=2,39)	kg/m ³	1010.3
Agregado Fino (H=3,28 - A=0,49)	kg/m ³	1027
Peso Unitario Concreto	kg/m ³	2442

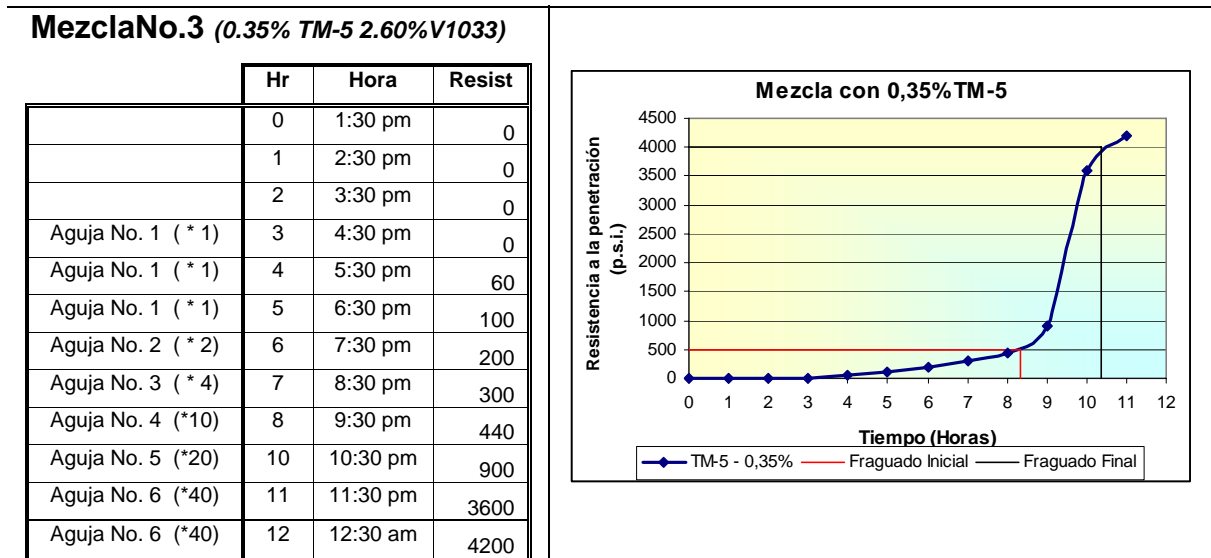
Se observa entonces una reducción de 448 kg/m³ a 305 kg/m³, que representa aproximadamente una reducción del 32% en los contenidos de cemento. Dado que la relación agua cemento se conserva en 0.4, el contenido de agua de mezclado disminuye a 99.89 kg/m³, razón por la cual se hace necesario la adición del aditivo Sika Viscocrete 1033, para evitar problemas en la manejabilidad de la

mezcla y al mismo tiempo evitar adicionar mayor cantidad del aditivo retardante Sika Plastiment TM-5.

Se elaboran tres mezclas, cada una con cantidades diferentes de Plastiment TM-5 y con la cantidad necesaria de Viscocrete 1033 que permita obtener la fluidez y manejabilidad de la mezcla y garantizar así un asentamiento que se encuentre dentro del rango especificado. Aparte del comportamiento mecánico y de la manejabilidad, se tendrá en cuenta el efecto que produce la combinación de aditivos sobre los tiempos de fraguado del concreto, con la finalidad de encontrar la dosificación óptima de aditivos.

TABLA 34. Incidencia de aditivos en los tiempos de Fraguado



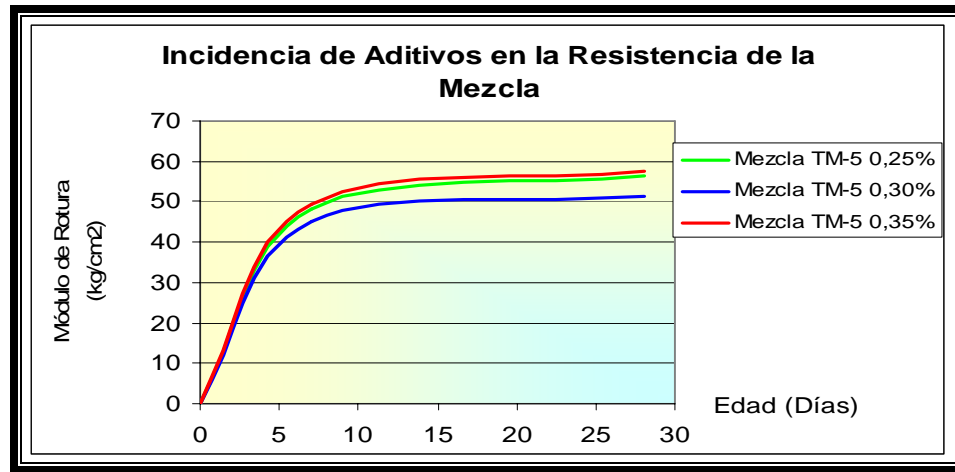


Los tiempos de fraguado se obtuvieron para cada mezcla siguiendo el procedimiento del ensayo NTC 109 por medio de las agujas de Gilmore. Luego de determinados los tiempos de fraguado, las viguetas realizadas se introducen en agua y se fallan a los 7 y 28 días para determinar su resistencia a la flexión. Los resultados de este ensayo se observan en la tabla 35.

TABLA 35. Combinación de aditivos en las mezclas e Incidencia sobre el Módulo de Rotura y los tiempos de fraguado

	MEZCLA 1		MEZCLA 2		MEZCLA 3	
% Plastiment TM-5	0.25		0.30		0.35	
% Viscocrete 1033	1.30		2.20		2.60	
Carga Máxima (KN)	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
	38.51	56.69	34.44	45.64	37.32	41.84
	35.56	47.26	33.05	37.99	36.66	34.75
	37.06	37.79	34.12	43.02	37.29	39.24
Promedio	37.04	47.25	33.87	42.22	37.09	38.61
Módulo de Rotura MR (kg/cm ₂)	49.38	59.29	45.16	51.48	49.45	56.38
% de Resistencia	109.73	125.10	100.35	114.40	109.90	125.28
Asentamiento	110 mm	4.33"	80 mm	3.15"	90 mm	3.54"
Fraguado Inicial	3:10 hr		5:20 hr		8:30 hr	
Fraguado Final	5:20 hr		7:30hr		10:55 hr	

FIGURA 23. Efecto de los aditivos en la resistencia de las mezclas



De la tabla y del gráfico anterior se puede concluir:

- La dosificación de aditivos debe estar siempre dentro de los rangos recomendados por Sika; además, estas dosificaciones se deben determinar realizando ensayos de acuerdo a las condiciones de obra y donde se determine el comportamiento de éstos con los materiales.
- Al reducir la cantidad de cemento, se reduce también la cantidad de agua, por lo que se hace necesario el empleo de aditivos plastificantes que mejoren la trabajabilidad de la mezcla. Las tres mezclas presentan manejabilidad dentro de los rangos establecidos, aunque las mejores propiedades de consistencia, apariencia y manejabilidad las obtuvo la mezcla 1.
- A mayor cantidad de Sika Plastiment TM-5, mayores tiempos de fraguado se obtienen, esto se pudo corroborar durante el ensayo.
- Por lo anterior se escoge la mezcla No. 1 debido a que cumple con el asentamiento especificado y los tiempos de fraguado por ser los menores, se ajustan con los tiempos necesarios para transportar concreto premezclado en la ciudad de Bucaramanga.

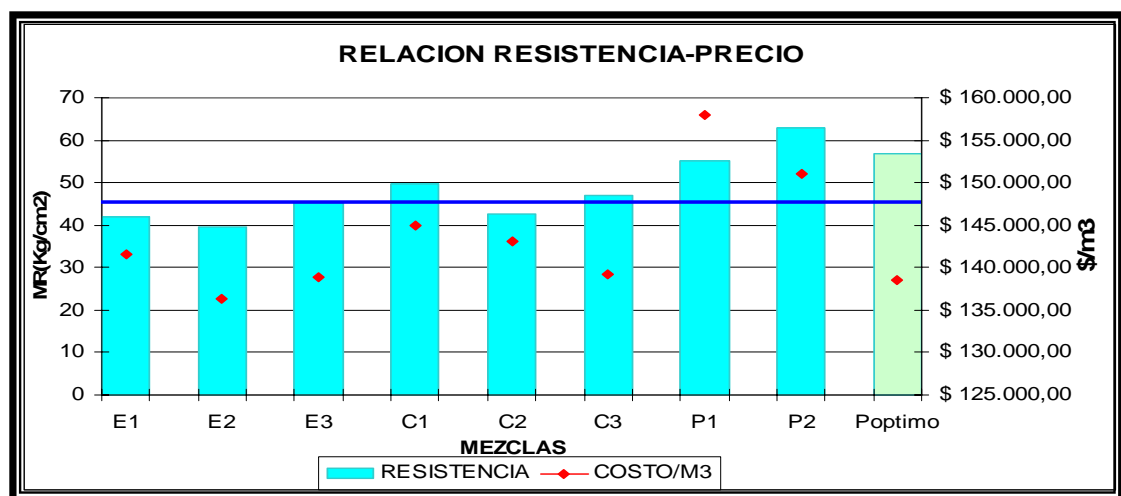
6.4 COSTOS DE LA DOSIFICACIÓN EMPLEADA EN EL DISEÑO FINAL

Los costos correspondientes a la mezcla recomendada para desarrollar concretos MR-45 a nivel industrial con los materiales de nuestra zona son:

TABLA 36. Costos componentes mezcla final

Peso Húmedo	Un	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Cemento	kg/m3	305	233.5/kg	71.217,5
Agua	l/m3	122	-	-
Cont. de aire		15	-	-
Agregado Grueso (H=1,18 - A=2,39)	Kg/m3	1000	50.000/m3	27.214,23
Agregado Fino (H=3,28 - A=0,49)	Kg/m3	1000	30.000/m3	18.697,68
Sika Plastiment TM-5 0.25%	Kg/m3	0.7625	2496.52/Kg	1903,59
Sika Viscocrete 1033 1.3%	Kg/m3	3.965	4930/Kg	19.547,44
Costo	kg/m3	2427		\$138.580,45

Este ajuste permite trabajar con cantidades de cemento racionales que disminuyen la probabilidad de contracción y fisuramiento. Al reducir las cantidades de cemento con respecto a la mezcla seleccionada, no sólo se logra obtener un diseño con excelentes propiedades mecánicas que mantiene la resistencia especificada, sino que se logró minimizar los costos de la mezcla, de un valor inicial de \$157.912,65 a \$138.580,45.



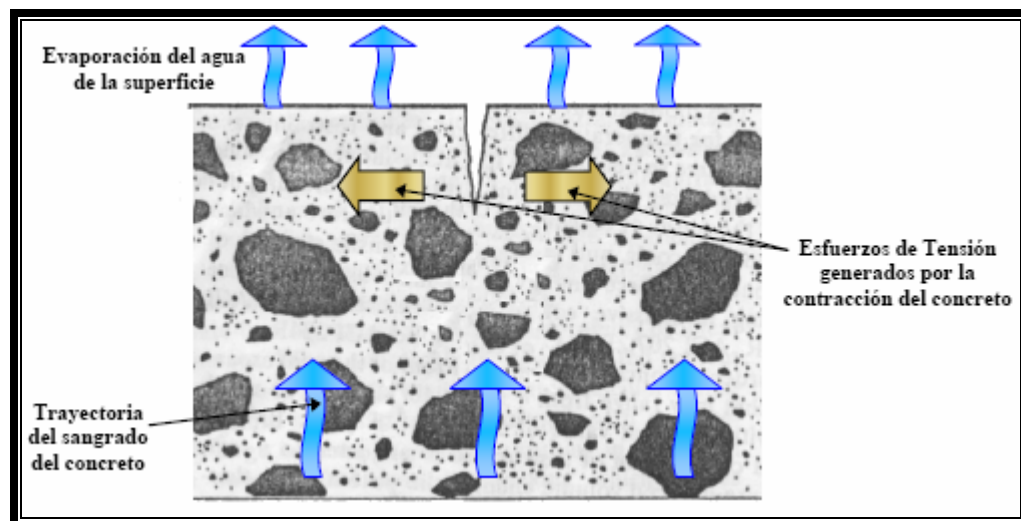
7. VARIACIONES VOLUMETRICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Es necesario estudiar la influencia de la temperatura en el concreto tanto en su estado fresco como endurecido, ya que a partir de ella el concreto presenta cambios volumétricos creando esfuerzos y roturas que pueden ser prevenidas por el control de las variables que afectan estos cambios volumétricos.

7.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CONCRETO FRESCO

Los cambios volumétricos que se presentan mientras el concreto se encuentra en su estado fresco recibe el nombre de contracciones plásticas. Estas contracciones generan grietas superficiales a medida que el agua se evapora de la superficie con mayor rapidez que con la velocidad de exudación del agua desde el interior hacia la superficie, originando una contracción por secado y desarrollando esfuerzos de tensión en la capa superficial.

Figura 24. Esquema de la evaporación, la trayectoria del sangrado, las grietas y los esfuerzos que se producen en la contracción plástica.



Ya que la probabilidad de que la presencia de estas grietas es mas factible en climas calientes y secos debido a la evaporación rápida generando una humedad y rigidez diferencial entre la superficie y el interior de la masa, se decide realizar un seguimiento de la temperatura del concreto en su estado fresco y entender la relación con la temperatura ambiente.

Se realizó una prueba que consistía en evaluar las temperaturas de tres mezclas iguales, pero colocadas bajo condiciones diferentes. Las lecturas de las temperaturas se realizaron por 24 horas usando un termómetro digital y termocuplas. Se hicieron dos viguetas por cada una de las mezclas, y las condiciones en las que se tuvieron sometidas después del mezclado fueron las siguientes:

TABLA 37. Mezclas usadas en el ensayo de temperaturas

NOMBRE	CONDICION
Muestra 1	Cuarto temp. controlada
Muestra 2	Intemperie
Muestra 3	Intemperie protegida con manto

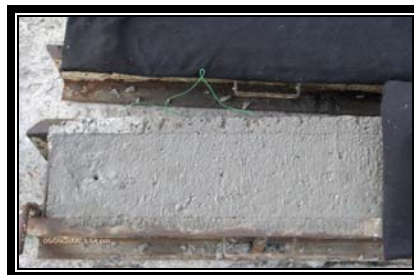
FOTO 27. Viguetas Temp. controlada



FOTO 28. Viguetas intemperie



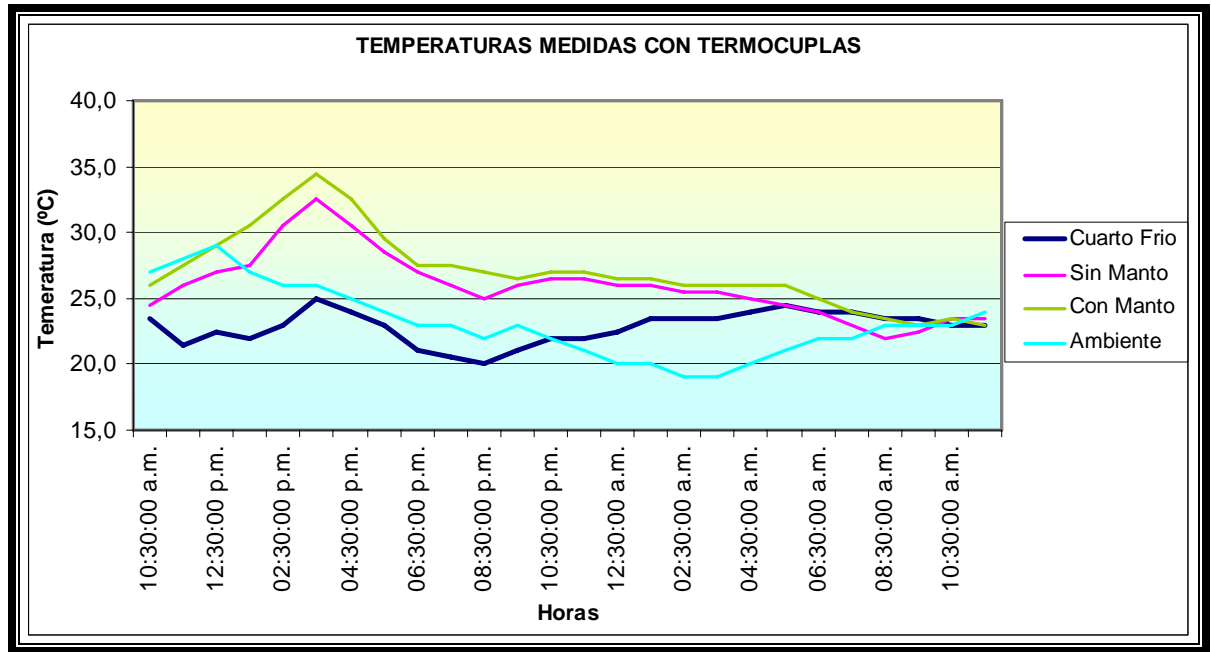
FOTO 29. Vigueta Intemperie protegida con manto



Los resultados obtenidos en esta prueba se encuentran en la Tabla 38

TABLA 38. Lecturas de temperaturas en viguetas

HORA	CUARTO TEMPERATURA CONTROLADA								VIGUETAS INTEMPERIE								VIGUETAS CON MANTO PROTECTOR							
	TERMOCUPLA (°C)				TEMOMETRO (°C)				TERMOCUPLA (°C)				TEMOMETRO (°C)				TERMOCUPLA (°C)				TEMOMETRO (°C)			
	Amb.	1	2	P	Amb.	1	2	P	Amb.	1	2	P	Amb.	1	2	P	Amb.	1	2	P	Amb.	1	2	P
10:30:00 a.m.	23	23,0	24,0	23,5	24,2	23,1	22,8	23,0	27	24,0	25,0	24,5	28,5	24,8	26,2	25,5	27	25,0	27,0	26,0	28,5	26,3	26,4	26,4
11:30:00 a.m.	23	22,0	21,0	21,5	24,5	23,5	22,6	23,1	28	25,0	27,0	26,0	28,9	26,4	26,1	26,3	28	27,0	28,0	27,5	28,9	28,5	27,4	28,0
12:30:00 p.m.	23	22,0	23,0	22,5	23,8	23,5	23,8	23,7	29	26,0	28,0	27,0	29,5	28,5	27,4	28,0	29	30,0	28,0	29,0	29,5	30,5	29,6	30,1
01:30:00 p.m.	22	22,0	22,0	22,0	24,3	23,5	23,6	23,6	27	27,0	28,0	27,5	27,6	29,9	30,5	30,2	27	31,0	30,0	30,5	27,6	31,3	32,1	31,7
02:30:00 p.m.	23	23,0	23,0	23,0	24,5	24,8	24,3	24,6	26	30,0	31,0	30,5	28,6	32,1	31,2	31,7	26	32,0	33,0	32,5	28,6	35,3	36,2	35,8
03:30:00 p.m.	22	25,0	25,0	25,0	23,4	25,9	25,7	26,6	26	32,0	33,0	32,5	27,8	35,0	35,1	35,1	26	34,0	35,0	34,5	27,8	36,8	37,2	37,0
04:30:00 p.m.	21	24,0	24,0	24,0	24,1	23,1	22,7	22,9	25	30,0	31,0	30,5	26,8	31,2	34,5	32,9	25	32	33	32,5	26,8	35,2	34,9	35,1
05:30:00 p.m.	21	23,0	23,0	23,0	24,6	23,5	23,2	23,4	24	29,0	28,0	28,5	25,8	30,5	31,3	30,9	24	29,0	30,0	29,5	25,8	31,2	32,6	31,9
06:30:00 p.m.	22	21,0	21,0	21,0	23,1	21,3	21,1	21,2	23	27,0	27,0	27,0	24,3	27,1	27,6	27,4	23	27,0	28,0	27,5	24,3	29,8	28,3	29,1
07:30:00 p.m.	23	21,0	20,0	20,5	24,5	21,5	21,1	21,3	23	26,0	26,0	26,0	25,6	26,5	25,8	26,2	23	28,0	27,0	27,5	26,5	28,7	27,5	28,1
08:30:00 p.m.	24	20,0	20,0	20,0	26,1	22,0	22,1	22,1	22	25,0	25,0	25,0	26,1	26,9	26,6	26,8	22	27,0	27,0	27,0	26,1	26,9	27,2	27,1
09:30:00 p.m.	23	21,0	21,0	21,0	25,7	23,4	23,8	23,6	23	26,0	26,0	26,0	25,7	27,5	27,2	27,4	23	26,0	27,0	26,5	25,7	28,0	27,6	27,8
10:30:00 p.m.	20	22,0	22,0	22,0	25,2	24,0	24,5	24,3	22	27,0	26,0	26,5	25,5	27,0	26,0	26,5	20	27,0	27,0	27,0	25,5	28,7	27,6	28,2
11:30:00 p.m.	21	22,0	22,0	22,0	24,4	24,2	24,8	24,5	21	27,0	26,0	26,5	24,8	27,2	27,8	27,5	21	27,0	27,0	27,0	24,8	28,2	28,8	28,5
12:30:00 a.m.	22	23,0	22,0	22,5	24,6	24,5	25,3	24,9	20	26,0	26,0	26,0	24,2	27,4	27,8	27,6	20	27,0	26,0	26,5	24,2	28,1	28,4	28,3
01:30:00 a.m.	22	24,0	23,0	23,5	24,5	24,8	25,8	25,3	20	26,0	26,0	26,0	24,6	27,7	27,4	27,6	20	27,0	26,0	26,5	24,6	27,6	28,1	27,9
02:30:00 a.m.	21	24,0	23,0	23,5	24,2	25,1	26,2	25,7	19	26,0	25,0	25,5	24,5	27,3	27,1	27,2	21	26,0	26,0	26,0	24,5	27,5	27,8	27,7
03:30:00 a.m.	21	24,0	23,0	23,5	24,1	25,3	26,5	25,9	19	25,0	26,0	25,5	23,5	27,1	27,0	27,1	21	26,0	26,0	26,0	23,5	27,3	27,6	27,5
04:30:00 a.m.	22	24,0	24,0	24,0	23,8	25,8	26,1	26,0	20	24,0	26,0	25,0	23,4	27,2	26,8	27,0	22	26,0	26,0	26,0	23,4	27,1	27,4	27,3
05:30:00 a.m.	20	24,0	25,0	24,5	23,2	26,8	26,4	25,8	21	24,0	25,0	24,5	23,6	26,4	26,5	26,5	21	25,0	26,0	26,0	23,6	26,5	26,8	26,7
06:30:00 a.m.	20	24,0	24,0	24,0	22,1	25,3	25,4	25,4	22	24,0	24,0	24,0	23,1	25,4	25,3	25,4	22	24,0	26,0	25,0	23,1	26,1	25,3	25,7
07:30:00 a.m.	21	24,0	24,0	24,0	22,5	25,1	24,8	25,0	22	23,0	23,0	23,0	21,1	24,8	24,4	24,6	22	24,0	24,0	24,0	21,1	25,4	24,8	25,1
08:30:00 a.m.	22	23,0	24,0	23,5	23,2	24,7	24,2	24,5	23	22,0	22,0	22,0	22,1	23,8	23,8	23,8	23	23,0	24,0	23,5	22,1	25,9	25,2	25,6
09:30:00 a.m.	21	23,0	24,0	23,5	23,2	24,0	24,5	24,3	23	22,0	23,0	22,5	22,8	24,0	23,8	23,9	23	23,0	23,0	23,0	22,8	25,4	24,2	24,8
10:30:00 a.m.	22	23,0	23,0	23,0	23,4	23,8	24,2	24,0	23	23,0	24,0	23,5	22,8	24,8	24,8	24,8	23	23,0	24,0	23,5	22,9	24,7	25,8	25,3
TEMP MAX	24,0			25,0	26,1			26,6	29,0			32,5	29,5			35,1	29,0			34,5	29,5			37,0

FIGURA 25. Temperaturas medidas con termocuplas

De acuerdo a los datos presentados en la anterior Tabla 38 y figura 25, se concluye:

- Las viguetas recubiertas con el manto alcanzan temperaturas dentro de la pasta más altas que las expuestas a la intemperie y en el cuarto frío.
- Las tres mezclas alcanzan su temperatura máxima a la misma hora es decir 5 horas después del mezclado, lo que indica que en esta hora han alcanzado el fraguado final.
- Se observa que en el momento de máxima temperatura en las mezclas se obtiene el gradiente térmico mayor de 3°C para la muestra 1, 6.5°C para la 2 y 8.5°C para la 3.
- La experiencia y algunos estudios han demostrado que para evitar los agrietamientos superficiales, el gradiente máximo de temperatura no debe sobrepasar 20°C, en este caso se demostró que los gradientes térmicos encontrados no representan amenaza alguna ya que estos se encuentran muy por debajo de este rango.

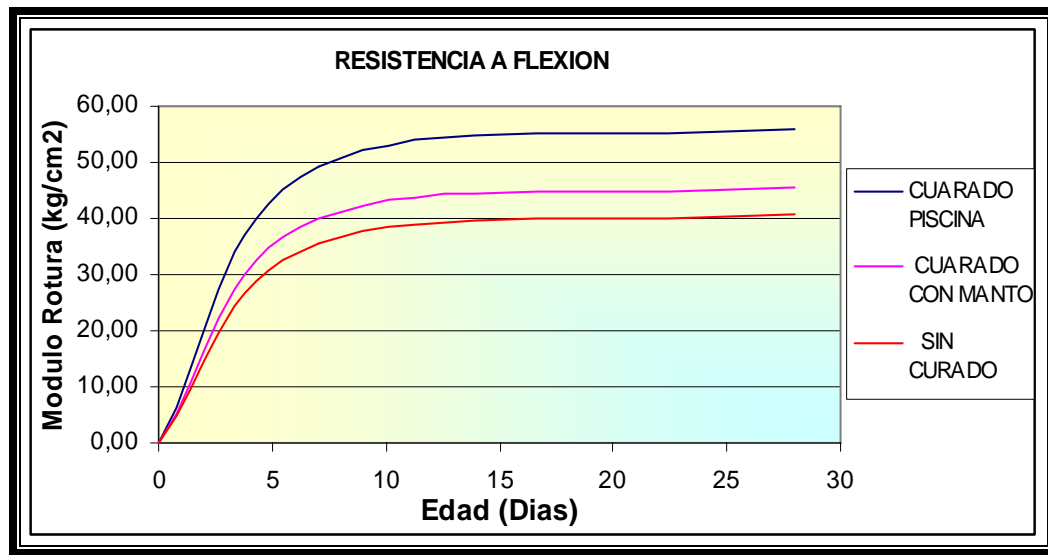
- Se puede concluir que el agrietamiento superficial causado por la temperatura del concreto y del ambiente en climas como los de Bucaramanga serán casi nulos siempre y cuando se tengan barreras contra el viento; ya que esta es otra de las causas que producen este tipo de agrietamientos.
- Se recomienda planificar la preparación de la mezcla con anterioridad de modo que la temperatura máxima alcanzada en el fraguado final, concuerde con la máxima temperatura ambiente, para así asegurar gradientes mínimos y evitar la formación de fisuras tempranas.
- En los casos en donde la temperatura del concreto en estado fresco alcanza valores considerables se deben enfriar los agregados rociándoles agua pero corrigiendo su humedad y en el caso del agua se puede enfriar el agua de mezcla.
- En tiempos calurosos se deben tomar medidas para reducir la velocidad de evaporación del concreto por medio de cubiertas provisionales como sacos de fique o forros de polietileno.

Después de realizar la anterior prueba de temperaturas, se dejaron las tres muestras durante 7 días en las condiciones establecidas con el fin de determinar la influencia que puede llegar a tener el curado sobre la resistencia a flexión, se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 39. Resultados ensayo a flexión en viguetas curadas en diferentes condiciones

	MODULO ROTURA (Kg/cm ²)	
	7 Días	28 Días
MEZCLA ÓPTIMA CUARTO TEMP. CONTR.	49,15	56,03
MEZCLA OPTIMA CUARADO CON MANTO	39,95	45,54
MEZCLA OPTIMA SIN CURADO	35,58	40,56

FIGURA 26. Resistencia a la Flexión en viguetas curadas en diferentes condiciones



Se puede observar según el gráfico:

- Las muestras sometidas a curado permanente en una piscina de agua alcanzaron los valores más altos de resistencia a flexión.
- Las viguetas curadas con manto alcanzan la resistencia a los 28 días especificada en este proyecto de 45 Kg/cm^2 , mientras que las muestras que se sometieron a la intemperie y no tuvieron ningún tipo de curado no alcanzaron este valor; corroborando que el empleo de las mantas puede ser aprovechado para elevar el calor de hidratación del cemento para acelerar la ganancia de resistencia.
- Mediante esta práctica se concluye que se debe realizar un curado adecuado en el pavimento rígido, ya que de él depende la resistencia de la mezcla.
- La resistencia máxima que puede alcanzar una mezcla bajo condiciones ideales de curado (sumergido en agua), difícilmente se pueden lograr en el sitio de obra; por esto se debe establecer condiciones de curado que garanticen el correcto proceso de hidratación de la mezcla.

7.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CONCRETO ENDURECIDO

Aun cuando el concreto en este estado se encuentre como un sólido rígido es susceptible a agrietarse por su baja resistencia especialmente a la tensión.

En este estado, los cambios volumétricos están definidos solamente por incrementos o decrementos causados por dilataciones y contracciones debidas a ciclos de temperatura y humedad; dentro de ellas se encuentra la contracción por secado, las contracciones-dilataciones por temperatura, la contracción por carbonatación y la reacción expansiva álcali-agregado. En este caso se estudiara solo el cambio volumétrico producido por la temperatura.

La reducción o el aumento de temperatura puede producir un agrietamiento especialmente cuando el movimiento esta restringido por alguna causa o se combina con la contracción por secado. Otro efecto es el alabeo por el gradiente térmico; en donde durante el día la cara superior de la losa se encuentra a una temperatura mayor que la inferior dilatándose la cara superior, mientras que en la noche este gradiente se invierte, dilatándose la cara inferior.

Ya que en Bucaramanga existen épocas durante el año en donde hay bruscos descensos de temperatura entre el día y la noche o en algunos casos dentro del mismo día; se propone evaluar la dilatación térmica de una probeta en las condiciones mas criticas de temperatura que se pueden llegar a alcanzar en la ciudad.

La práctica consistió en medir el incremento en la deformación de una probeta de concreto de dimensiones 100 x 200 mm, cuando se somete a un gradiente térmico de 20°C. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Primero se tomo la temperatura inicial dentro de la probeta por medio de una termocupla registrando un valor de 24°C. Posteriormente se colocaron en ceros

dos deformímetros ubicados de acuerdo como se muestra en la foto 30 cuando se registra la anterior temperatura.

FOTO 30. Medida inicial de temperatura y deformación.



- El segundo paso consiste en calentar la probeta en un horno hasta cuando el incremento de temperatura dentro de ella registre un aumento de 20 °C; esto se hace con el fin de modelar lo que posiblemente puede estar sucediendo en una losa de pavimento rígido.

FOTO 31. Calentamiento de la probeta al horno



Finalmente, cuando se lea en la termocupla un valor de 44°C, se saca la probeta y se registra las nuevas lecturas de los deformímetros.

FOTO 32. Medida final de deformación en la probeta



Este procedimiento se realizó tres veces con el fin de corroborar los datos obtenidos. Se registran los resultados obtenidos por los deformímetros en la tabla a continuación:

TABLA 40. Resultados ensayo de dilatación térmica

	LECTURA INICIAL		LECTURA FINAL		DILATACION (mm)		COEFICIENTE DILATACION TERMICA EXPERIMENTAL (/°C)	
	DEFORMIMETRO (mm)		DEFORMIMETRO (mm)					
	SUPERIOR	LATERAL	SUPERIOR	LATERAL	SUPERIOR	LATERAL	SUPERIOR	LATERAL
1	0,0127	0,02	0,2032	0,20	0,1905	0,18	4,76E-05	9,00E-05
2	0,0127	0,02	0,178	0,06	0,1651	0,04	4,13E-05	2,00E-05
3	0,0127	0,02	0,127	0,04	0,1143	0,02	2,86E-05	1,00E-05
			PROMEDIO		0,1566	0,08	3,92E-05	4,00E-05

Los resultados obtenidos para el valor del coeficiente de dilatación térmica se encuentran muy distantes de los valores establecidos para el concreto. Los

valores de este coeficiente oscilan entre 6×10^{-6} y $1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$; esta diferencia se debe a que la metodología empleada para realizar el ensayo requiere de mayor precisión en el montaje y toma de datos.

7.3 RETRACCIÓN POR FRAGUADO

Medida experimentalmente la dilatación térmica que sufre el concreto en la mezcla final en su estado endurecido, se compara con la retracción que sufre la misma en su estado fresco durante el proceso de fraguado con el fin de comparar las deformaciones obtenidas por cada una de ellas y establecer un rango que permita verificar la efectividad de las juntas de dilatación en nuestro medio.

Para obtener los valores de la retracción que sufre la mezcla durante las primeras horas, se tomó una probeta cilíndrica con mezcla fresca, y cuando la superficie comenzó a presentar endurecimiento (fraguado inicial), se colocó una delgada lámina metálica y sobre ésta un deformímetro que permitió observar los cambios volumétricos sufridos por la mezcla durante el proceso de fraguado. Los datos obtenidos se pueden observar en la tabla 41.

TABLA 41. Retracción durante el proceso de fraguado.

Horas	1	2	3
	Retracción	Retracción	Retracción
	mm	mm	mm
1	0	0	0
2	0,2032	0,254	0,4318
3	0,5588	0,6858	0,7366
4	0,8382	0,8636	0,9398
5	0,8382	0,9144	0,9652
6	0,8382	0,9144	0,9652
7	0,8382	0,9144	0,9652
8	0,8382	0,9144	0,9652
9	0,8382	0,9144	0,9652
10	0,8382	0,9144	0,9652
11	0,8382	0,9144	0,9652

12	0,8382	0,9144	0,9652
13	0,8382	0,9144	0,9652
14	0,8382	0,9144	0,9652
15	0,8382	0,9144	0,9652
16	0,8382	0,9144	0,9652
17	0,8382	0,9144	0,9652
18	0,8382	0,9144	0,9652
19	0,8382	0,9144	0,9652
20	0,8382	0,9144	0,9652
21	0,8382	0,9144	0,9652
22	0,8382	0,9144	0,9652
23	0,8382	0,9144	0,9652
24	0,8382	0,9144	0,9652

TABLA 42. Comparación resultados por unidad de longitud de la retracción y dilatación térmica

RETRACCION POR UNIDAD DE LONGITUD (mm)				
HORAS	1	2	3	PROMEDIO
1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
2	1,02E-03	1,27E-03	2,16E-03	
3	2,79E-03	3,43E-03	3,68E-03	
4	4,19E-03	4,32E-03	4,70E-03	
5	4,19E-03	4,57E-03	4,83E-03	4,53E-03

DILATACION TERMICA POR UNIDAD DE LONGITUD (mm)			PROMEDIO
9,53E-04	8,26E-04	5,72E-04	7,83E-04

De acuerdo a la tabla 42 se observa que las deformaciones por unidad de longitud en la retracción del concreto durante el fraguado sobrepasan los valores obtenidos en las deformaciones por la dilatación térmica, con esto se concluye que las juntas de retracción por fraguado sirven también como juntas de dilatación.

Por lo anterior las juntas de dilatación no son necesarias para la construcción de pavimentos en concreto en Bucaramanga, solo se requieren cuando se trabaja con estructuras muy rígidas.

8. DISEÑO CONCRETO FAST TRACK

8.1 GENERALIDADES

En este capítulo se estudia la factibilidad de desarrollar concretos para pavimento rígido de habilitación temprana con los materiales de nuestra región caracterizados en el capítulo 3. Cuando se habla de habilitación temprana se requiere lograr incrementos en la madurez del concreto y no provocar aumentos excesivos en el contenido de cemento para no inducir contracciones que pudieran afectar la adherencia. El uso de un aditivo superfluidificante debe controlarse para evitar efectos secundarios de retardo de fraguado, los que actuarían en forma contraproducente en la obtención de resistencias tempranas.

Los concretos que se emplean para el desarrollo de concretos Fast Track deben contemplar las limitaciones impuestas por el espesor, de forma tal de adecuar su tamaño máximo preferiblemente $\frac{1}{4}$ del espesor de losa, por lo que se diseña una mezcla con tamaño nominal del agregado de $1\frac{1}{2}$ ". Los asentamientos que se emplean son los mismos especificados, entre 8 y 12 cm. Se diseñan concretos de buena resistencia, con contenidos unitarios de cemento relativamente elevados (mayores a 360 Kg./m^3) y relación agua/cemento baja, inferior a 0,42.

8.2 REQUISITOS PARA EL CONCRETO DE HABILITACIÓN TEMPRANA ("FAST TRACK")

- Se puede alcanzar la producción de concreto de habilitación temprana con ingredientes disponibles localmente y los métodos convencionales de construcción.

- Normalmente, una mezcla de concreto de alta resistencia temprana convencional incorpora un factor de cemento mayor, una relación a/c optimizada, granulometría de agregados uniforme, y aditivos según se necesiten.
- Se debe considerar el empleo de cemento tipo III, ya que este desarrolla mayor calor de hidratación, pero en este caso, se estudiará la factibilidad de adecuar la mezcla MR-45 optimizada con Cemento Pórtland tipo I para lograr el desarrollo de resistencias a temprana edad (24 horas).
- No existen diseños de mezcla específicos o únicos para lograr un concreto de alta resistencia temprana. Se puede diseñar una amplia gama de mezclas para satisfacer las necesidades del proyecto.

8.3 CRITERIO DE HABILITACION TEMPRANA

Se escoge una resistencia del 70% a las 24 horas como criterio de habilitación temprana. Este criterio es la base para diseñar una mezcla que logre desarrollar altos calores de hidratación en las primeras horas para lograr una resistencia a la compresión de 16 MPa que corresponde a un módulo de rotura de 31.62 kg/cm^2 . Este valor corresponde al 70% de una mezcla MR-45.

Para lograr esto se requiere que a la mezcla final MR-45 obtenida en el capítulo 6, se suprima el empleo del aditivo Sika Plastiment TM-5 que es un retardante, y por el contrario, emplear un aditivo acelerante, por lo que se empleará el aditivo **Sika ViscoCrete-20 HE**, el cual es un superplastificante reductor de agua.

Este aditivo cumple con las siguientes funciones:

- Excelente efecto plastificante, resulta en el mejoramiento de la fluidez,
- Pronunciado desarrollo temprano de resistencias iniciales.
- Reduce el tiempo de puesta al servicio en vías y autopistas.

Dosis: dosis recomendada para trabajabilidad media: 0,2-0,8% del peso del cemento

8.4 ELABORACION DE LA MEZCLA FAST TRACK MR-45

Este tipo de mezclas se desarrollan partiendo de ensayos que permiten obtener, de acuerdo a las propiedades y características de los materiales empleados, las dosificaciones pertinentes de aditivos que lleven al concreto a obtener las propiedades requeridas en las especificaciones en cuanto a manejabilidad, consistencia y resistencia.

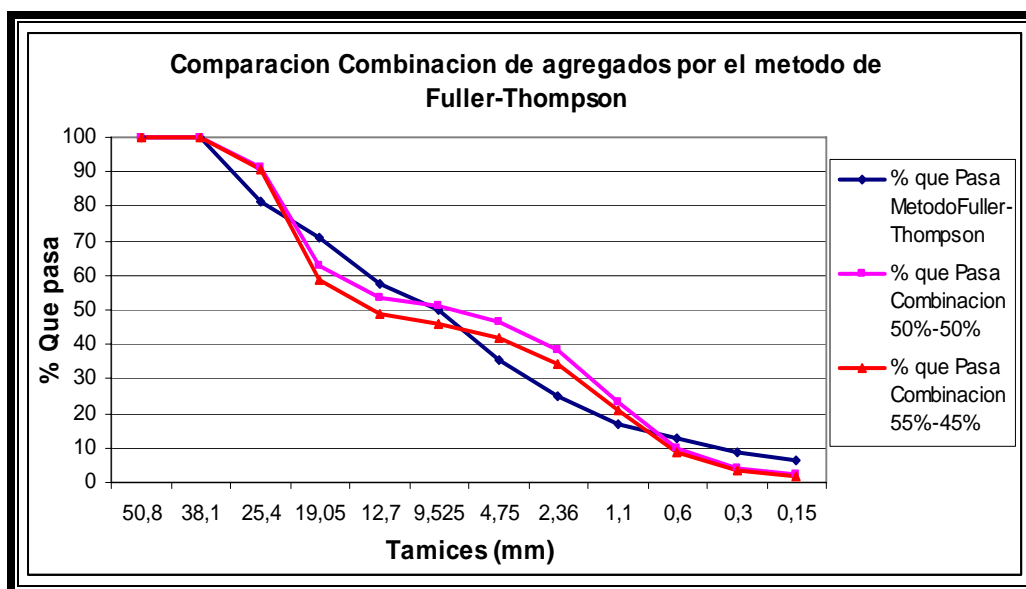
Se diseñan dos mezclas de concreto, a partir de las cantidades máximas recomendadas por la IPRF (Fundación de Investigaciones de Pavimentos Innovadores en su Programa de Tecnología de Pavimentos de Concreto para Aeropuertos⁸) para la producción de concretos de habilitación temprana.

Se hace inicialmente el diseño de la mezcla 1 para evaluar su comportamiento. Con base en los resultados obtenidos se elabora la mezcla 2 variando primero el contenido de cemento y luego los porcentajes de combinación de agregados. Para determinar la mejor combinación de agregados usada en la mezcla 1 de 50%-50% y el de la mezcla 2 de 55%-45%, se compararon los porcentajes obtenidos por las combinaciones con los encontrados usando el método de la curva de Fuller - Thompson .

De acuerdo a la figura 27 se encontró que la combinación que mejor se ajusta a los porcentajes de la curva de Fuller-Thompson son los de la combinación de 55%-45%.

⁸ FUNDACION DE INVESTIGACIONES DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA AEROPUERTOS. Informe IPRF-01-G-002-1. Abril de 2003.

FIGURA 27. Comparación de % combinación de agregados por el método de Fuller- Thompson



Como se mencionó, no existe una receta para la elaboración de mezclas Fast Track, se proponen las siguientes:

TABLA 43. Dosificación de Componentes de las mezclas Fast Track

Peso Húmedo	Un	Mezcla 1	Mezcla 2
Cemento	kg/m ³	460	480
Agua	kg/m ³	165.15	120.06
Cont. de aire	kg/m ³	1.5	1.5
Agregado Grueso (H=1,18 - A=2,39)	kg/m ³	861.5 (50%)	927.24 (55%)
Agregado Fino (H=3,28 - A=0,49)	kg/m ³	875.75 (50%)	826.25 (45%)
Peso Unitario Concreto	kg/m³	2.362	2.354

FOTO 33. Mezcla 1



FOTO 34. Mezcla 2



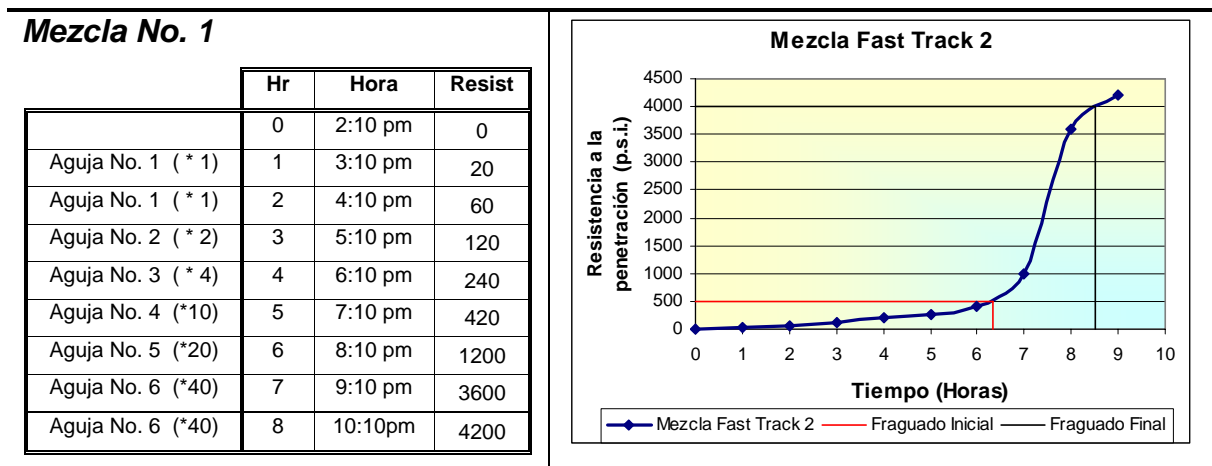
FOTO 35. .Asentamiento Mezcla 1



FOTO 36. Asentamiento Mezcla 2



TABLA 44. Incidencia de aditivos en los tiempos de Fraguado



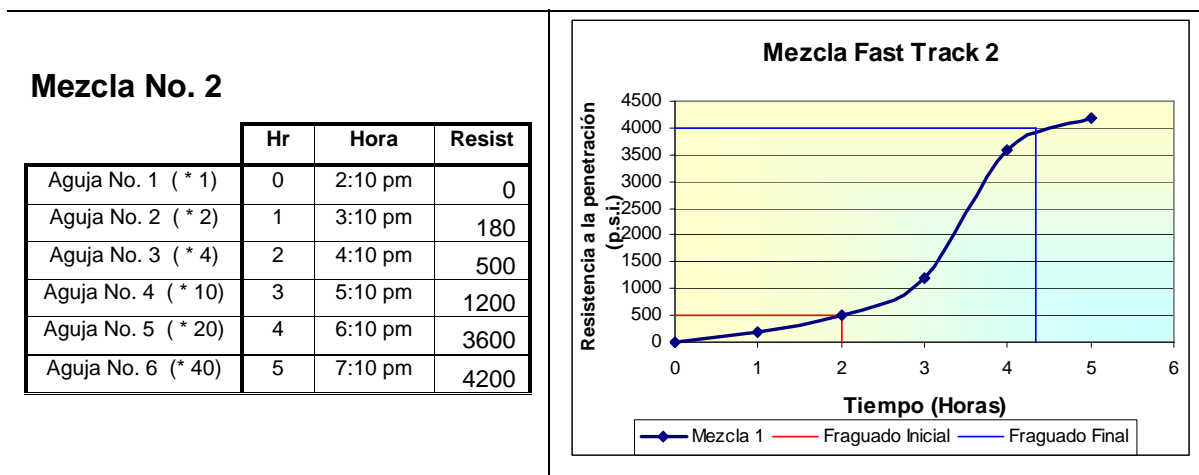


TABLA 45. Combinación de aditivos en las mezclas Fast Track e Incidencia sobre el Módulo de Rotura y los tiempos de fraguado

	MEZCLA 1		MEZCLA 2	
Fecha	27/04/2006		27/04/2006	
% Viscocrete 20HE	0.25		0.35	
% Viscocrete 1033	0		0	
Carga Máxima (KN)	24 Horas		24 Horas	
	5.98		27.28	
	6.12		22.98	
	6.05		21.12	
Promedio	6.10		24.01	
Módulo de Rotura MR (kg/cm₂)	19.52		38.74	
% de Resistencia	43.38%		86%	
Asentamiento	178 mm	7"	100 mm	4"
Fraguado Inicial	6:20 hr		2:00 hr	
Fraguado Final	8:30 hr		4:20 hr	
Fotografía luego de falla				
Masa Unitaria	2365		2366	
Módulo de Elasticidad				
F'c	60.96		240.12	

De los anteriores ensayos se puede concluir:

- El control de los agregados y su combinación son fundamentales para obtener una mezcla con propiedades de manejabilidad y consistencia adecuadas para trabajar las mezclas que serán empleadas para la habilitación temprana.
- La mezcla No. 1, debido a que no se hizo ajuste de humedad a los agregados, presentó un exceso de agua de mezclado que unido al efecto plastificante del aditivo acelerador, aumentó considerablemente la fluidez de la mezcla.
- Durante el proceso de mezclado la matriz de mortero superó a la de agregado grueso, esto se debió a que los agregados finos, unidos al contenido de cemento, formaron un volumen considerable de mortero (aparición con exceso de pasta de cemento) ocasionando asentamientos altos.
- La mezcla No. 1 por tanto, a pesar de tener iguales propiedades en cuanto a los materiales de la Mezcla No. 2, se descarta, ya que no cumple con los requisitos de manejabilidad ni obtuvo la resistencia especificada a las 24 horas.
- Para la mezcla No. 2, se modificó la combinación de agregados aumentando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla, ya que la mezcla 1 presentaba exceso de mortero y deficiencia de agregado grueso. Además se incrementó el contenido de cemento con el fin de alcanzar la resistencia esperada. Con esto se logró mejorar notablemente las propiedades de la mezcla en cuanto a manejabilidad, consistencia y se obtuvo un asentamiento de 4”.
- Las dosificaciones de concreto empleadas en la realización de las mezclas fueron recomendadas por el proveedor de los aditivos SIKA, con base en estudios y ensayos realizados, razón por la cual no se variaron estas cantidades.
- La mezcla No. 2 sobrepasó las expectativas de diseño al obtener el 86 % de la resistencia total a las 24 horas, por tanto se toma este diseño como una propuesta factible para la realización de concretos de habilitación temprana con los materiales de la zona y adecuada al clima de nuestra región.

Los costos correspondientes a la mezcla seleccionada para la realización de concretos de habilitación temprana, se observan en la siguiente tabla:

TABLA 46. Costos mezclas Fast Track

Peso Húmedo	Un	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Cemento	kg/m3	480	233.5/kg	112.080
Agua	l/m3	120.06	-	-
Cont. de aire		15	-	-
Agregado Grueso (H=1,18 - A=2,39)	Kg/m3	927.24	50.000/m3	31.115,44
Agregado Fino (H=3,28 - A=0,49)	Kg/m3	826.25	30.000/m3	15.022,73
Sika Viscocrete 20HE	Kg/m3	1.61	12000/Kg	19320
Costo	kg/m3	2428		\$177.538,17

Partiendo de la mezcla propuesta, se recomienda proponer nuevos diseños de mezclas que logren disminuir las cantidades de cemento para así minimizar los costos y comparar estos resultados, empleando cemento ARI Tipo III de altas resistencias.

9. CONCLUSIONES

- La importancia del estudio de caracterización de materiales radica en obtener concretos que cumplan con las especificaciones de resistencia y que con el tiempo tengan buena durabilidad al mas bajo costo en los proyectos de construcción. El efecto sobre el concreto que provoca la alteración de las características de los agregados explotados por las fuentes en nuestra región se ve afectado por el control de calidad en los tamaños de los agregados sanidad, resistencia, dureza entre otros, y la verificación de los proceso de extracción y manufacturación en las trituradoras de gravas y en los bancos de arena.
- Todos los materiales explotados para la elaboración de concretos en Bucaramanga y su Área Metropolitana son aceptables por su composición mineralógica y por sus propiedades mecánicas. Los agregados explotados por las trituradoras La Esmeralda y El Cristal presentan excesos de polvo en su superficie y contenidos de materiales de construcción alterando la resistencia de la mezcla
- La eficiencia de un diseño de mezcla depende principalmente del control de calidad que se efectúe a sus componentes. Los agregados en el momento de elaboración de la mezcla, deben tener las propiedades que se tuvieron en cuenta en el diseño, para obtener los resultados esperados en cuanto a manejabilidad, apariencia y resistencia.
- Se observo que altos contenidos de cemento o la utilización de agregados de mayor tamaño no garantizan un mejor resultado en las propiedades del concreto; por el contrario la adecuada interacción entre los diferentes

componentes, es decir excelentes gradaciones en los agregados y una combinación de agregados gruesos y finos apropiada que consiga un mejor acomodamiento en la pasta y mayores densidades en la mezcla, proporciona mejores resultados en cuanto a resistencia a flexión.

- La mezcla compuesta por la combinación de materiales de la fuente del Río Chicamocha (Pescadero) presentó para similares contenidos de cemento, el mejor desempeño en cuanto a resistencia, alcanzando un 40% más del valor esperado. Aunque inicialmente este diseño constituye económicamente la opción menos rentable debido al aumento de los costos por concepto de transporte de material, se seleccionó por sus excelentes propiedades mecánicas, principalmente por la alta resistencia alcanzada que permitió realizar un ajuste significativo en las cantidades de cemento con lo que se obtuvo una dosificación más económica que las demás.
- A través de la metodología propuesta para el ajuste de las mezclas se logran disminuir las cantidades de cemento y por tanto los costos
- El empleo de aditivos en la elaboración de las mezclas, permite mejorar propiedades específicas sin modificar las proporciones de los componentes iniciales.
- Es importante analizar la influencia de la temperatura sobre la mezcla de concreto para controlar los agrietamientos superficiales por la contracción plástica. Los cambios térmicos en la ciudad de Bucaramanga no alcanzan valores significativos que induzcan altos agrietamientos.
- Se encontró que los valores obtenidos para la retracción durante el fraguado son mayores que los valores de la dilatación térmica, esto permite deducir que el concreto al reducir su volumen por retracción otorga un margen mayor para que el concreto se dilate, por lo que las juntas de dilatación no son necesarias.

- Se estudió la factibilidad del desarrollo de concretos de habilitación temprana atendiendo a las necesidades de desarrollo tecnológico que atraviesa en este momento la ciudad de Bucaramanga. Con la construcción de sistemas de transporte masivo se requiere conseguir concretos Fast Track que puedan alcanzar resistencias del 70% de los valores especificados a las 24 horas. Para conseguir esto, se requiere implementar aditivos acelerantes, aumentar la cantidad de cemento y utilizar una combinación de agregados que contenga mayor porcentaje de agregados gruesos para aumentar la resistencia de la mezcla.

10. RECOMENDACIONES

- Las trituradoras de El Cristal y la Esmeralda deben tener mayor control de calidad en los materiales comercializados ya que estos presentan residuos de construcción, exceso de polvo en la superficie del agregado y gradaciones monogranulares que pueden llegar a afectar las propiedades finales del concreto.
- Las trituradoras deben clasificar los agregados de acuerdo al tamaño máximo nominal encontrado en los análisis granulométricos, esto con la finalidad de no comercializar erradamente el material. Esto se puede lograr implementando unidades de clasificación en el proceso de trituración.
- En el momento de preparación de la mezcla se debe realizar un ajuste a la humedad natural de los agregados para obtener resultados acordes al diseño elaborado y disminuir los problemas de manejabilidad y asentamientos.
- Se deben establecer condiciones de curado de acuerdo al sitio y tipo de obra que garanticen el aprovechamiento del calor de hidratación del cemento y mantener la humedad para acelerar la ganancia de resistencia.
- Continuar con el estudio de diseño de mezclas para la elaboración de concretos de habilitación temprana, ajustando la cantidad de cemento empleada al utilizar cemento tipo I y comparar el comportamiento de la mezcla y sus propiedades con el empleo de cemento ARI tipo III.

- Determinar una metodología más precisa que permita medir las deformaciones que producen los efectos de la dilatación y contracción térmica en un cilindro y modelar estos resultados en una losa de concreto, con la finalidad de obtener conclusiones más veraces.
- Proponer estudios de durabilidad y permeabilidad en las mezclas de concreto para pavimento rígido.
- Proponer el estudio de factibilidad de adicionar nuevos materiales al concreto, con la finalidad de aumentar su resistencia durante las primeras veinticuatro (24) horas enfocado a la consecución de concretos de habilitación temprana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Asociación Colombiana de Productores de Concreto ASOCRETO.
www.asocreto.com.co

- [2] SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bhandar Editores Ltda. Tercera edición. Bogotá. 1997.

- [3] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Normas Técnicas Colombianas NTC. Quinta Actualización. Bogotá 1993.

- [4] MANUAL DEL USO DE HORMIGÓN ELABORADO. Resistencia del Hormigón Elaborado. Su Medición y Evaluación de Resultados.
www.hormigonelaborado.com/manual-2.htm

- [5] CEMENT ASSOCIATION OF CANADA. Coefficient of Expansion.
www.cement.ca

- [6] INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. Revista Construcción y Tecnología. Mayo 1999. www.imcyc.com

- [7] Scorza, R. "Experiencias en las carreteras y vialidades recientemente construidas en México con concreto hidráulico". I Congreso Internacional de Vías Terrestres, Chihuahua Mex. 1997.

- [8] Velásquez, H. "Ventajas económicas de los pavimentos de concreto hidráulico", I Congreso Internacional de Vías Terrestres", Chihuahua, Méx. Abril 1997.

- [9] Olague, C. Castillo, S. Clemente, M. "Criterios para el diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico para un camino A4S". Diciembre 1995.
- [10] AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION ACPA. Pavement Technology. www.pavement.com
- [11] RIVERA, F. Función de los aditivos en la durabilidad del concreto", Memoria del Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto: Durabilidad, Monterrey, N.L. México 1993.
- [12] MORENO ESPARZA, Carlos Alonso; QUESADA OREJARENA, Edgar Alonso. Evaluación de Concreto Normal de 3.000 P.S.I. con aditivo estabilizador. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1999.
- [13] DUARTE MOYA, Carlos Alberto; TELLEZ MEDINA, Zully Consuelo. Análisis Comparativo del Concreto Certificado y el Concreto Mezclado en Obra. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1996.
- [14] CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN CONCRETO. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Tercera Edición. Bogotá, 1999.
- [15] LANDAVERDE QUIJADA, José Miguel. Estudio de la calidad de los Agregados para Concreto en las Canteras más importantes de el Salvador. Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil. San Salvador, El Salvador. Correo electrónico: civildir@navegante.com.sv.

ANEXOS

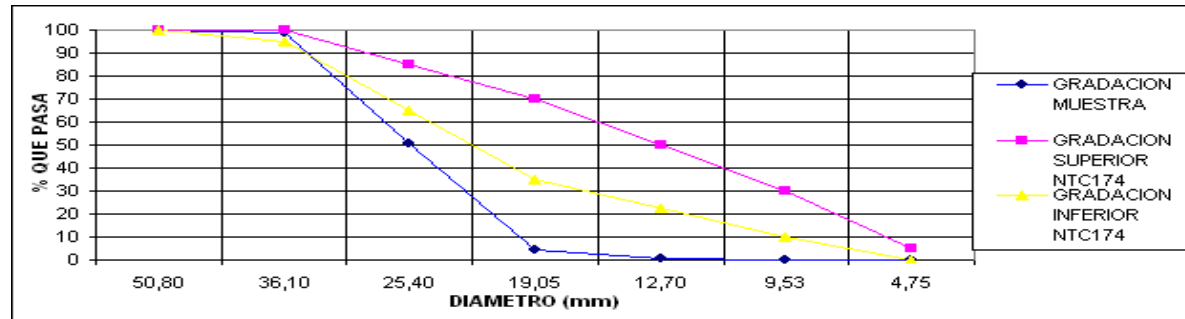
ANEXO 1
RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE AGREGADOS
GRUESOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1½"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 15000,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 14997,35
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,02
 HUMEDAD (%) : 0.75

MALLA Nº	ABERTURA Mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 QUINTA EDICION	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10	171,7	1,14	1,14	98,86	100	95
1"	25,40	7190	47,93	49,08	50,92	85	65
¾"	19,05	6950	46,33	95,41	4,59	70	35
½"	12,70	632,3	4,22	99,63	0,37	50	22,5
⅜"	9,53	20,55	0,14	99,76	0,24	30	10
#4	4,75	3,5	0,02	99,79	0,21	5	0
SUMA		14968,05					
TOTAL		14997,35					



D₁₀ = 19,2
D₃₀ = 22,89
D₆₀ = 28,43
C_u = 1,48
C_c = 0,96
TAMAÑO MAX. 2"

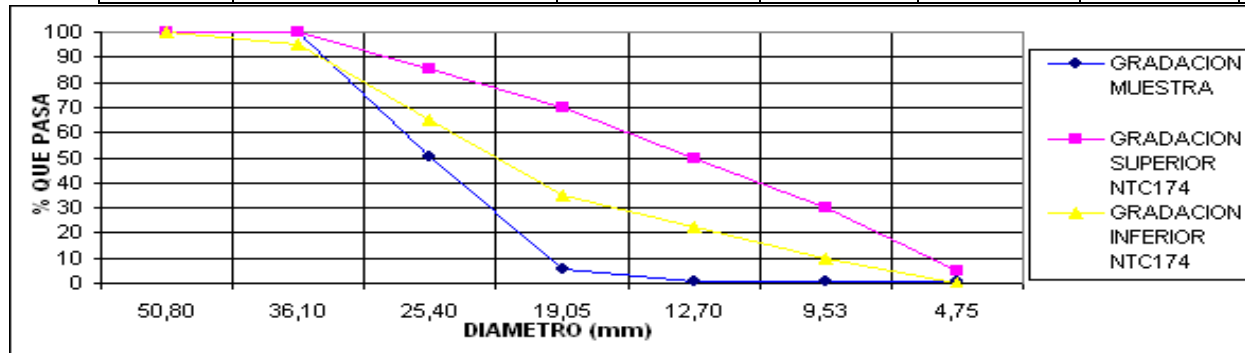
TAMAÑO MAX.
NOMINAL 1½"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 4993,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 4970,00
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,46
 HUMEDAD (%) : 0.74

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
Nº	Mm	gr					
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	95
1"	25,40	2478	49,63	49,63	50,37	85	65
¾"	19,05	2247,5	45,01	94,64	5,36	70	35
½"	12,70	226,5	4,54	99,18	0,82	50	22,5
⅜"	9,53	13	0,26	99,44	0,56	30	10
#4	4,75		0,00	99,44	0,56	5	0
SUMA		4965					
TOTAL		4970					



D₁₀ = 10,26
D₃₀ = 14,65
D₆₀ = 20,03
C_u = 1,95
C_c = 1,04

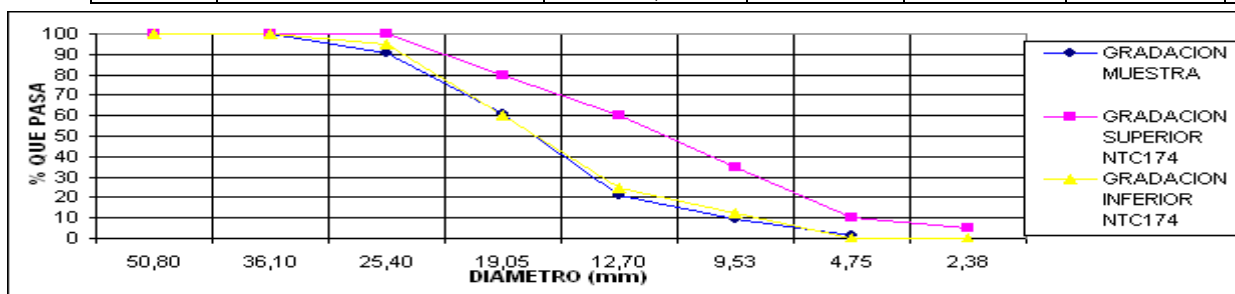
TAMAÑO MAX 1½"
TAMAÑO MAX
NOMINAL 1½"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 3/4"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) :	4964,00
PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) :	4932,50
PASA TAMIZ 75 µm (%) :	0,63
HUMEDAD (%) :	0,74

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
Nº	Mm	gr		ACUMULADO			
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	462	9,31	9,31	90,69	100	95
¾"	19,05	1496,5	30,15	39,45	60,55	80	60
½"	12,70	1969	39,67	79,12	20,88	60	25
3/8"	9,53	562,5	11,33	90,45	9,55	35	12,5
#4	4,75	393	7,92	98,37	1,63	10	0
#8	2,38					5	0
SUMA		4883					
TOTAL		4932,50					



D ₁₀ =	10,26
D ₃₀ =	14,65
D ₆₀ =	20,03
C _u =	1,95
C _c =	1,04
TAMAÑO MAX	1½"
TAMAÑO MAX	1"
NOMINAL	1"

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	5035	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4923	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb - Pa	3073	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	4965	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	C / (C - B) =	2,62	
Gravedad especifica aparente	C / (A - B) =	2,53	
Gravedad especifica aparente S.S.S	A / (A - B) =	2,57	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7095	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6805	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	(Pc - Pm) / V =	1611,99	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	(Ps - Pm) / V =	1509,70	Kg / m3

% de absorción..... (A - C) x 100 / C = 1,41 %

% de vacíos..... (D x 1000 - E) / (D x 10) = 37,19 %

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	5068	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4920	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	3070	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	4998	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,59	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,50	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,54	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7134	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6868	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1625,75	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1531,92	Kg / m3

% de absorción..... $(A - C) \times 100 / C =$ 1,40 %

% de vacíos..... $(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$ 35,91 %

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 3/4"
NORMA: INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	5057	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4901	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	3051	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	4988	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,58	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,49	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,52	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	6995	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6706	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1576,72	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1474,78	Kg / m3

% de absorción..... $(A - C) \times 100 / C =$ 1,38 %

% de vacíos..... $(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$ 37,46 %

ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA : INV E-218

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	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"	No. 4			2500				
No. 4	No. 5				5000			
No. de Esferas		12	11	8	6	12	12	12

RESULTADOS

Gradación usada	F
No. de Esferas	12
No. de Revoluciones	1000
Pa= muestra seca antes del ensayo (gr)	10.000
Pb= peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No. 12 (gr)	6.330
Pérdida del material (Pa-Pb)	3.670
% Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)*100	36,70%
Especificación INVIAS	< 40%

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR LA ACCION
DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO**

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA: INV E-220

TAMIZ	PESO RETENIDO	%RETENIDO	# PARTICULAS	
			ANTES	DESPUES
1 1/2 "	1530	60,12	60	59
1"	680	26,72	90	89
3/4"	335	13,16	140	132
	2545	100	290	280

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA ORIGINAL%	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO P1 (gr)	PÉRDIDA gr	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUÉS DEL ENSAYO % PÉRDIDA REAL	GRADACION ORIGINAL % PÉRDIDA REAL
PASANTE	RETENIDO					
2"	1 1/2 "	60,12	1530,00	1498,00	58,86	1,26
1 1/2"	1"	26,72	680,00	645,50	25,36	1,36
1"	3/4"	13,16	335,00	310,53	12,20	0,96
SUMA		100,00	2545,00	2454,03	96,43	3,57

PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDEZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO
ESPECIFICACION INVIAS

3,57%
< 12%

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL CRISTAL
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA: INV E-230

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
				% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENDIDO GRADACION ORIGINAL	
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	6565,00	399,90	6,09	47,93	291,96
1"	3/4"	3775,00	1746,10	46,25	46,33	2142,96
SUMA =		10340,00	2146,00	52,35	94,26	2434,92

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
				% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENDIDO GRADACION ORIGINAL	
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	6565,00	1225,10	18,66	47,93	894,43
1"	3/4"	3775,00	409,70	10,85	46,33	502,82
SUMA =		10340,00	1634,80	29,51	94,26	1397,24

ESPECIFICACION INVIAS

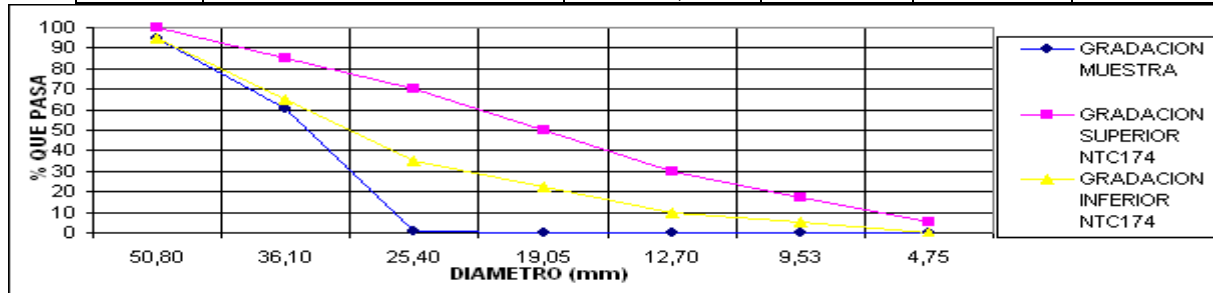
INDICE DE ALARGAMIENTO	<u>25,83%</u>	<u><15%</u>
INDICE DE APLANAMIENTO	<u>14,82%</u>	<u><15%</u>

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1½"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 15000,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 14998,98
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,007
 HUMEDAD (%) : 1.18

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80	772	5,15	5,15	94,85	100	95
1½"	36,10	5200	34,67	39,81	60,19	85	65
1"	25,40	8920	59,47	99,28	0,72	70	35
¾"	19,05	86,7	0,58	99,86	0,14	50	22,5
½"	12,70	4,7	0,03	99,89	0,11	30	10
⅜"	9,53	0	0,0	99,89	0,11	17,5	5
#4	4,75	0	0,0	99,89	0,11	5	0
SUMA		14983,4					
TOTAL		14998,98					



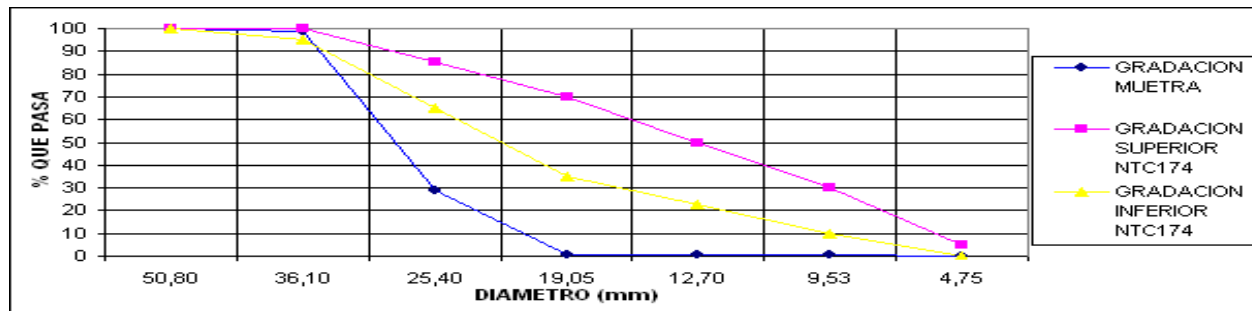
D₁₀ = 27,07
D₃₀ = 30,67
D₆₀ = 36,07
C_u = 1,33
C_c = 0,96
TAMAÑO MAX. 2½"
TAMAÑO MAX. NOMINAL 2"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 10000,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 9993,22
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,068
 HUMEDAD (%) : 1.18

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 QUINTA EDICION	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10	134,22	1,34	1,34	98,66	100	95
1"	25,40	6970	69,70	71,04	28,96	85	65
¾"	19,05	2820	28,20	99,24	0,76	70	35
½"	12,70	36,15	0,36	99,60	0,40	50	22,5
3/8"	9,53	6,51	0,07	99,67	0,33	30	10
#4	4,75	2,63	0,03	99,70	0,30	5	0
SUMA		9969,51					
TOTAL		9993,22					



D₁₀ = 21,13
D₃₀ = 25,56
D₆₀ = 30,17
C_u = 1,43
C_c = 1,02

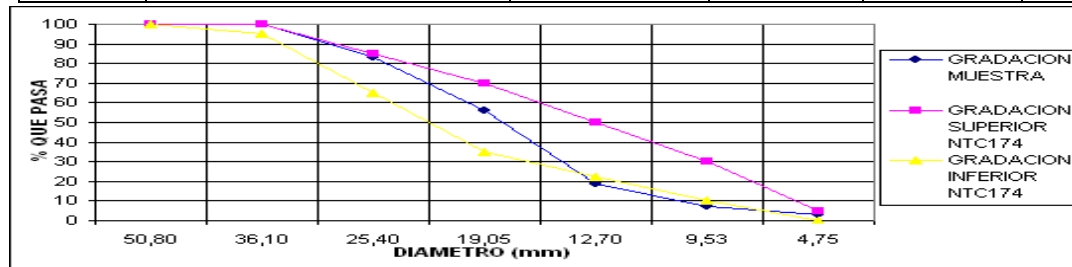
TAMAÑO MAX. 2"
TAMAÑO MAX.
NOMINAL 1½"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 3/4"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 4941,50
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 4845,16
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 1,95
 HUMEDAD (%) : 1,18

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 QUINTA EDICION	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	95
1"	25,40	823,66	16,67	16,67	83,33	85	65
¾"	19,05	1362,5	27,57	44,24	55,76	70	35
½"	12,70	1839	37,22	81,46	18,54	50	22,5
⅜"	9,53	549,5	11,12	92,58	7,42	30	10
#4	4,75	223	4,51	97,09	2,91	5	0
SUMA		4797,66					
TOTAL		4845,16					



D₁₀ = 10,26
D₃₀ = 14,65
D₆₀ = 20,03
C_u = 1,95
C_c = 1,04
TAMAÑO MAX 1½"
TAMAÑO MAX
NOMINAL 1½"

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire.....	4980	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4907	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	3057	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	4905	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica rea	$C / (C - B) =$	2,65	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,55	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,59	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7273	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6653	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1674,78	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1456,08	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	1,53	%
---------------------	----------------------------	------	---

% de vacíos.....	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	35,33	%
------------------	---	-------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	4070	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1851	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4324	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2473	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	3975	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,65	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,49	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,55	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	6987	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6576	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1573,90	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1428,92	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	2,39	%
---------------------	----------------------------	------	---

% de vacíos.....	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	38,24	%
------------------	---	-------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 3/4 "
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	4876	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4785	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2935	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	4815	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	$C / (C - B) =$	2,56	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,48	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,51	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7073	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6753	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado.....	$(Pc - Pm) / V =$	1604,23	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1491,36	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	1,27	%
---------------------	----------------------------	------	---

% de vacíos.....	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10)$	36,14	%
	=		

ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
DESCRIPCION TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA : INV E-218

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	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"	No. 4			2500				
No. 4	No. 5				5000			
No. de Esferas		12	11	8	6	12	12	12

RESULTADOS	
Gradación usada	F
No. de Esferas	12
No. de Revoluciones	1000
Pa= muestra seca antes del ensayo (gr)	10.000
Pb= peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No. 12 (gr)	7.595
Pérdida del material (Pa-Pb)	2.405
% Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)*100	24,05%
Especificación INVIAS	< 40%

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR LA ACCION
DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO**

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1½"
NORMA: INV E-220

TAMIZ	PESO RETENIDO	%RETENIDO	# PARTICULAS	
			ANTES	DESPUES
1 1/2 "	5140	76,72	53	52
1"	1015	15,15	18	17
3/4"	545	8,13	33	31
SUMA	6700	100	104	100

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA ORIGINAL%	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO P1 (gr)	PÉRDIDA gr	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUES DEL ENSAYO % PÉRDIDA REAL	GRADACION ORIGINAL % PÉRDIDA REAL
PASANTE	RETENIDO					
2"	1 1/2 "	76,72	5140,00	5045,00	75,30	1,42
1 1/2"	1"	15,15	1015,00	987,90	14,74	0,40
1"	3/4"	8,13	545,00	499,30	7,45	0,68
SUMA		100,00	6700,00	6532,20	97,50	2,50

PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDEZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO
ESPECIFICACION INVIAS

2,50%
<12,00%

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA LA ESMERALDA
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA: INV E-230

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
				% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	7645,00	572,50	7,49	69,70	521,95
1"	3/4"	3995,00	1580,90	39,57	28,20	1115,93
SUMA =		11640,00	2153,40	47,06	97,90	1637,88

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
				% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	7645,00	693,10	9,07	69,70	631,90
1"	3/4"	3995,00	373,40	9,35	28,20	263,58
SUMA =		11640,00	1066,50	18,41	97,90	895,48

INDICE DE ALARGAMIENTO 16,73%
INDICE DE APLANAMIENTO 9,15%

ESPECIFICACION

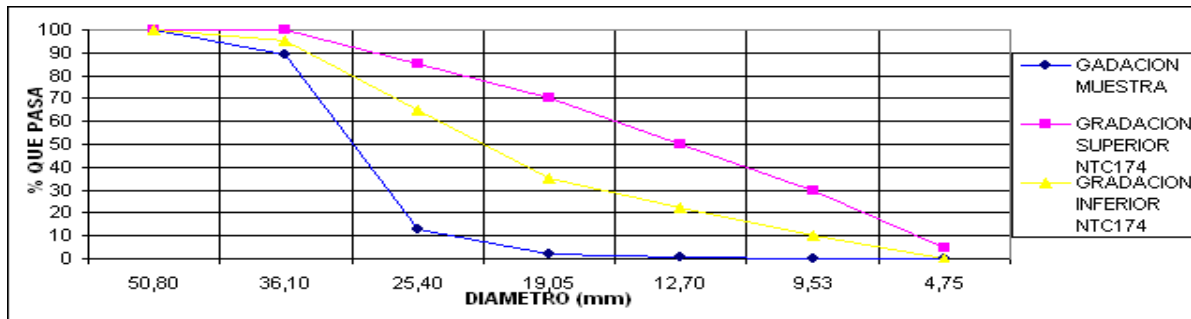
< 15%
< 15%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 10000,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 9998,33
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,017
 HUMEDAD (%) : 0,24

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10	1052,7	10,53	10,53	89,47	100	95
1"	25,40	7690	76,90	87,43	12,57	85	65
¾"	19,05	1035	10,35	97,78	2,22	70	35
½"	12,70	183,7	1,84	99,61	0,39	50	22,5
⅜"	9,53	17,46	0,17	99,79	0,21	30	10
#4	4,75	2,44	0,02	99,81	0,19	5	0
SUMA		9981,3					
TOTAL		9998,33					



D₁₀ = 23,82
D₃₀ = 27,82
D₆₀ = 32,00
C_u = 1,34
C_c = 1,02

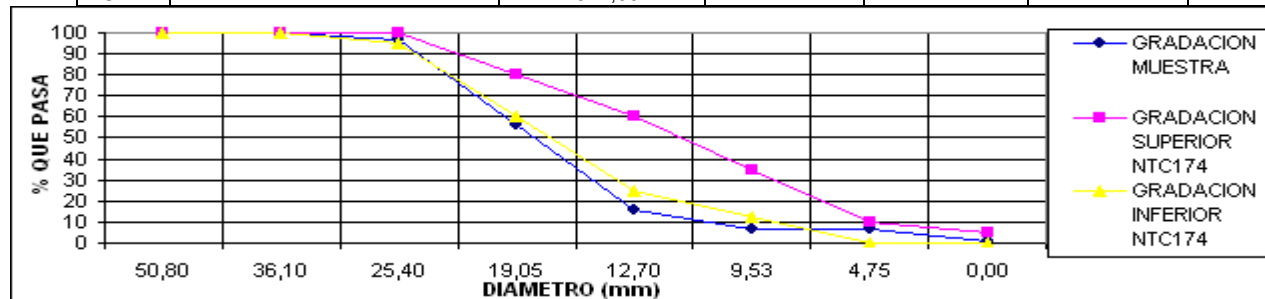
TAMAÑO MAX. 2"
TAMAÑO MAX. NOMINAL 1½"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 3/4 "

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 4986,50
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 4971,00
 PASA TAMIZ 75 µm (%) : 0,31
 HUMEDAD (%) : 0.24

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	146	2,93	2,93	97,07	100	95
¾"	19,05	2027	40,65	43,58	56,42	80	60
½"	12,70	2015	40,41	83,99	16,01	60	25
3/8"	9,53	470	9,43	93,41	6,59	35	12,5
#4	4,75	288,5	5,79	99,20	0,80	10	0
#8	2,38	288,5	5,79	104,98		5	0
SUMA		4946,5					
TOTAL		4971,00					



D ₁₀ =	<u>10,26</u>
D ₃₀ =	<u>14,65</u>
D ₆₀ =	<u>20,03</u>
C _u =	<u>1,95</u>
C _c =	<u>1,04</u>
TAMAÑO MAX	<u>1½"</u>
TAMAÑO MAX NOMINAL	<u>1 "</u>

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	4035	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4333	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2483	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	3990	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,65	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,57	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,60	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7087	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6872	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1609,17	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1533,33	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	1,13	%
---------------------	----------------------------	------	---

% de vacíos	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	38,11	%
-------------------	---	-------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION TAMAÑO APARENTE 3/4"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	4035	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4315	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2465	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	3998	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,61	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,55	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,57	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	6987	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6526	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1573,90	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1411,29	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	0,93	%
---------------------	----------------------------	------	---

% de vacíos.....	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	38,76	%
------------------	---	-------	---

ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
DESCRIPCION TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA : INV E-218

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	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"	No. 4			2500				
No. 4	No. 5				5000			
No. de Esferas		12	11	8	6	12	12	12

RESULTADOS	
Gradación usada	F
No. de Esferas	12
No. de Revoluciones	1000
Pa= muestra seca antes del ensayo (gr)	10.000
Pb= peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No. 12 (gr)	6.130
Pérdida del material (Pa-Pb)	3.870
% Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)*100	38,70%
Especificación INVIAS	< 40%

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR LA ACCION
DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO**

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA: INV E-220

TAMIZ	PESO RETENIDO	%RETENIDO	# PARTICULAS	
			ANTES	DESPUES
1 1/2 "	5125	77,07	52	52
1"	1030	15,49	19	19
3/4"	495	7,44	28	28
SUMA	6650	100	99	99

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA ORIGINAL%	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO P1 (gr)	PÉRDIDA gr	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUES DEL ENSAYO % PÉRDIDA REAL	GRADACION ORIGINAL % PÉRDIDA REAL
PASANTE	RETENIDO					
2"	1 1/2 "	77,07	5125,00	4930,00	74,14	2,93
1 1/2"	1"	15,49	1030,00	986,20	14,83	0,66
1"	3/4"	7,44	495,00	490,60	7,38	0,07
SUMA		100,00	6650,00	6406,80	96,34	3,66

**PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDEZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO
ESPECIFICACION INVIAS**

**3,66%
< 12,00%**

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: TRITURADORA EL TESORO
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA: INV E-230

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
PASANTE	RETENIDO			% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENDIDO GRADACION ORIGINAL	
2"	1 1/2"	8585,00	736,50	8,58	10,53	90,34
1 1/2"	1"	10405,00	2576,80	24,77	76,90	1904,43
1"	3/4"	1774,50	603,20	33,99	10,35	351,82
SUMA =		20764,50	3916,50	67,34	97,78	2346,59

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
PASANTE	RETENIDO			% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENDIDO GRADACION ORIGINAL	
2"	1 1/2"	8585,00	2970,50	34,60	10,53	364,35
1 1/2"	1"	10405,00	764,50	7,35	76,90	565,02
1"	3/4"	1774,50	227,20	12,80	10,35	132,52
SUMA =		20764,50	3962,20	54,75	97,78	1061,88

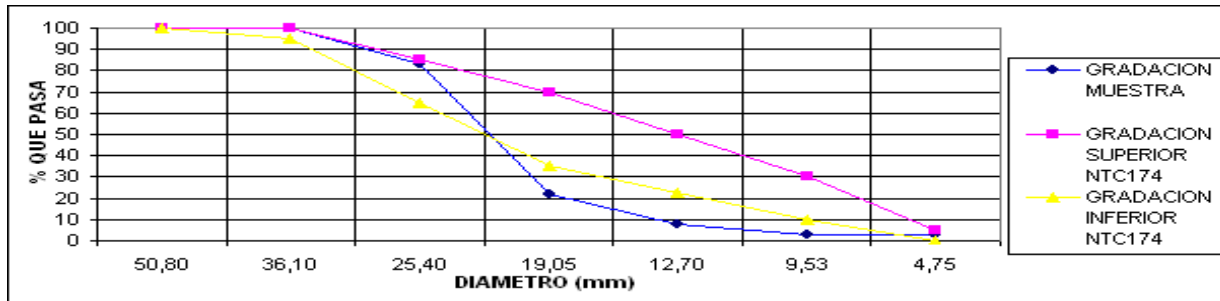
	ESPECIFICACION
INDICE DE ALARGAMIENTO	<u>24,00%</u>
INDICE DE APLANAMIENTO	<u>10,86%</u>
	15%
	15%

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PLANTA AVENDAÑO-SAENZ LTDA
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 1"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 4405,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 4384,00
 PASA TAMIZ μm 75 (%) : 0,48
 HUMEDAD (%) : 1.0

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
						L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	95
1"	25,40	745	16,91	16,91	83,09	85	65
¾"	19,05	2703,5	61,37	78,29	21,71	70	35
½"	12,70	606	13,76	92,04	7,96	50	22,5
⅜"	9,53	223,5	5,07	97,12	2,88	30	10
#4	4,75			97,12	2,88	5	0
SUMA		4278					
TOTAL		4406					



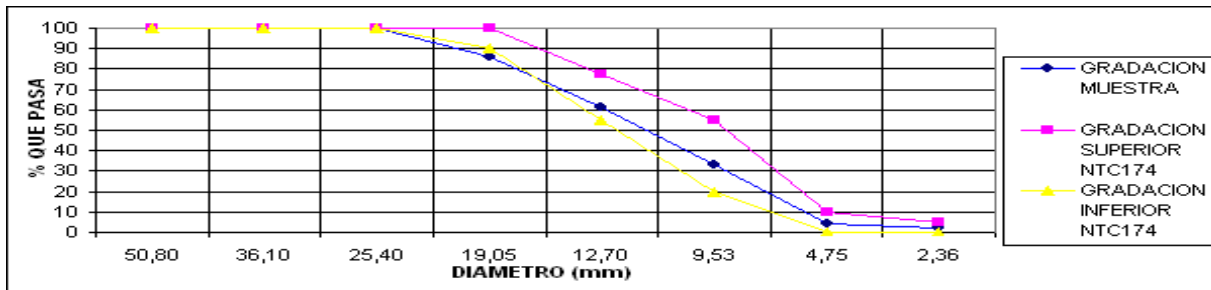
D₃₀ = 19,91
D₆₀ = 23,01
C_u = 1,69
C_c = 1,26
TAMAÑO MAX = 1½"
TAMAÑO MAX NOMINAL = 1½"

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PLANTA AVENDAÑO-SAENZ LTDA
DESCRIPCIÓN: TAMAÑO APARENTE 3/4"

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) :	4218,00
PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) :	4201,00
PASA TAMIZ μm 75 (%) :	0,40
HUMEDAD (%) :	1.7

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO		% QUE PASA	NTC 174 (QUINTA EDICION)	
			RETENIDO	ACUMULADO		L. Super	L. Infer
2"	50,80		0,00	0,00	100,00	100	100
1½"	36,10		0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,40		0,00	0,00	100,00	100	100
¾"	19,05	581	13,77	13,77	86,23	100	90
½"	12,70	1045	24,77	38,55	61,45	77,5	55
3/8"	9,53	1200	28,45	67,00	33,00	55	20
#4	4,75	1201,5	28,49	95,48	4,52	10	0
#8	2,36	94,5	2,24	97,72	2,28	5	0
SUMA		4122					
TOTAL		4217					



D ₁₀ =	5,67
D ₃₀ =	9,02
D ₆₀ =	12,33
C _u =	2,17
C _c =	1,16
TAMAÑO MAX	1"
TAMAÑO MAX NOMINAL	¾"

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PROVEEDOR AVENDAÑO SAENZ LTDA
LOCALIZACION: PESCADERO
DESCRIPCION: GRAVA 1"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire	4030	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4364	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2514	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	3997	Gramos

CALCULOS :

Gravedad específica real	$C / (C - B) =$	2,70	
Gravedad específica aparente	$C / (A - B) =$	2,64	
Gravedad específica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,66	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7038	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6738	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1591,89	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1486,07	Kg / m3
% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	0,83	%
% de vacíos	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	40,12	%

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PROVEEDOR AVENDAÑO SAENZ LTDA
LOCALIZACION: PESCADERO
DESCRIPCION GRAVA 3/4"
NORMA : INV E-217-223

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso de la muestra en condición S.S.S, en el aire.....	4030	Gramos
Pa =	Peso de la canasta sumergida en agua.....	1850	Gramos
Pb =	Peso de la canasta + muestra S.S.S, sumergida en agua.....	4364	Gramos
B =	Peso de la muestra en agua = Pb – Pa.....	2514	Gramos
C =	Peso de la muestra secada en el horno	3997	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real.....	$C / (C - B) =$	2,70	
Gravedad especifica aparente	$C / (A - B) =$	2,64	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$A / (A - B) =$	2,66	(D)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor.....	2,835	Litros
Pm =	Peso del medidor vacío.....	2525	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	7012	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	6712	Gramos

CALCULOS :

E = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	1582,72	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	1476,90	Kg / m3

% de absorción.....	$(A - C) \times 100 / C =$	0,83	%
% de vacíos	$(D \times 1000 - E) / (D \times 10) =$	40,46	%

ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PLANTA AVENDAÑO SAENZ
DESCRIPCION TAMAÑO 1"
NORMA : INV E-218

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	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"	No. 4			2500				
No. 4	No. 5				5000			
No. de Esferas		12	11	8	6	12	12	12

RESULTADOS	
Gradación usada	F
No. de Esferas	12
No. de Revoluciones	1000
Pa= muestra seca antes del ensayo (gr)	4.998
Pb= peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz No. 12 (gr)	3.640
Pérdida del material (Pa-Pb)	1.358
% Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)*100	27,17%
Especificación INVIAS	< 40%

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS POR LA ACCION
DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO**

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PLANTA AVRND AÑO SAENZ
LOCALIZACION: GIRON
DESCRIPCION: TAMAÑO 1"
NORMA : INV E-220

TAMIZ	PESO RETENIDO	%RETENIDO	# PARTICULAS	
			ANTES	DESPUES
1 1/2 "	1550	60,43	63	60
1"	680	26,51	92	90
3/4"	335	13,06	144	137
	2565	100,00	299	287

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA ORIGINAL%	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO P1 (gr)	PÉRDIDA gr	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUÉS DEL ENSAYO % PÉRDIDA REAL	GRADACION ORIGINAL % PÉRDIDA REAL
PASANTE	RETENIDO					
2"	1 1/2 "	60,43	1550,00	1486,50	57,95	2,48
1 1/2"	1"	26,51	680,00	630,20	24,57	1,94
1"	3/4"	13,06	335,00	298,20	11,63	1,43
		100,00	2565,00	2414,90	94,15	5,85

PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDEZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO
ESPECIFICACION

5,85%
< 12%

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: PLANTA AVENDAÑO
 SAENZ
LOCALIZACION: PESCADERO
DESCRIPCION: TAMAÑO APARENTE 1"
NORMA: INV E-230

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
PASANTE	RETENIDO			% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	
1 1/2"	1"	2600,00	0,00	0,00	16,91	0,00
1"	3/4"	3750,00	1095,00	29,20	61,37	1792,00
SUMA =		6350,00	1095,00	29,20	78,28	1792,00

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL RETENIDO EN EL CALIBRADOR (gr)	A	B	A x B
PASANTE	RETENIDO			% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	
1 1/2"	1"	2600,00	725,80	27,92	16,91	472,05
1"	3/4"	3750,00	304,91	8,13	61,37	499,00
SUMA =		6350,00	1030,71	36,05	78,28	971,04

INDICE DE ALARGAMIENTO 22,89%
INDICE DE APLANAMIENTO 12,40%

ESPECIFICACION

< 15%
< 15%

ANEXO 2

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE AGREGADOS

FINOS

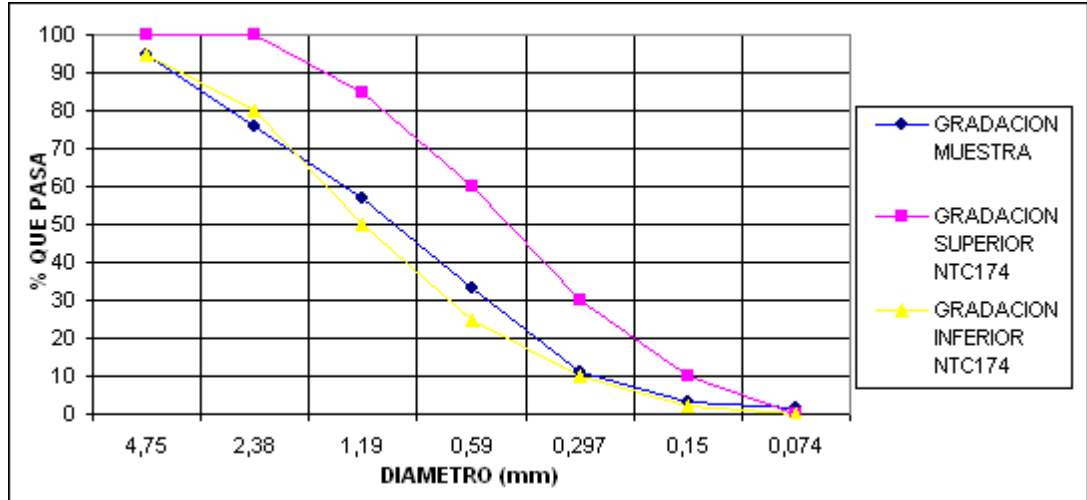
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: GIRON
OBSERVACION: APARIENCIA GRUESA

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 600,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 590,00
 PORCENTAJE DE ERROR % : 1,67
 HUMEDAD (%) : 3,28

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO (gr)	%	% RETENIDO ACUMULADO	%	NTC 174	
						QUE PASA	L. Super
#4	4,75	30	5,00	5,00	95,00	100	95
#8	2,38	115	19,17	24,17	75,83	100	80
#16	1,19	115,00	19,17	43,33	56,67	85	50
#30	0,59	140,00	23,33	66,67	33,33	60	25
#50	0,297	135,00	22,50	89,17	10,83	30	10
#100	0,15	45	7,50	96,67	3,33	10	2
#200	0,074	10	1,67	98,33	1,67	0	0
PASA 200		0,00	0,00	98,33	1,67		
TOTAL		590,00					

MODULO FINURA 3,250



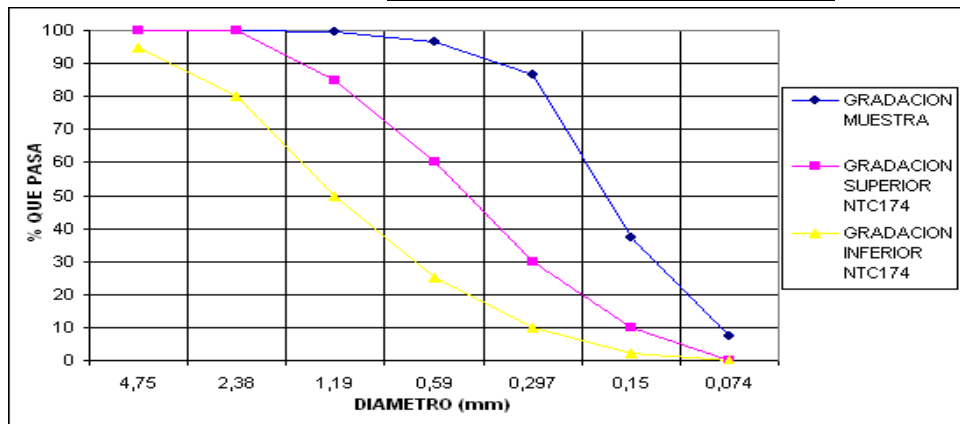
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: ARENA BOCAS
OBSERVACION: MUESTRA #1 ARENA FINA

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 600,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 590,52
 PORCENTAJE DE ERROR % : 1,58
 HUMEDAD % : 7,43

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO (gr)	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	NTC 174	
						L. Super	L. Infer
#4	4,75	0,1	0,02	0,02	99,98	100	95
#8	2,38	0,2	0,03	0,05	99,95	100	80
#16	1,19	1,20	0,20	0,25	99,75	85	50
#30	0,59	18,10	3,02	3,27	96,73	60	25
#50	0,297	61,10	10,18	13,45	86,55	30	10
#100	0,15	296,3	49,38	62,83	37,17	10	2
#200	0,074	179	29,83	92,67	7,33	0	0
PASA 200		34,52	5,75	98,42	1,58		
TOTAL		590,52					

MODULO FINURA **0,799**



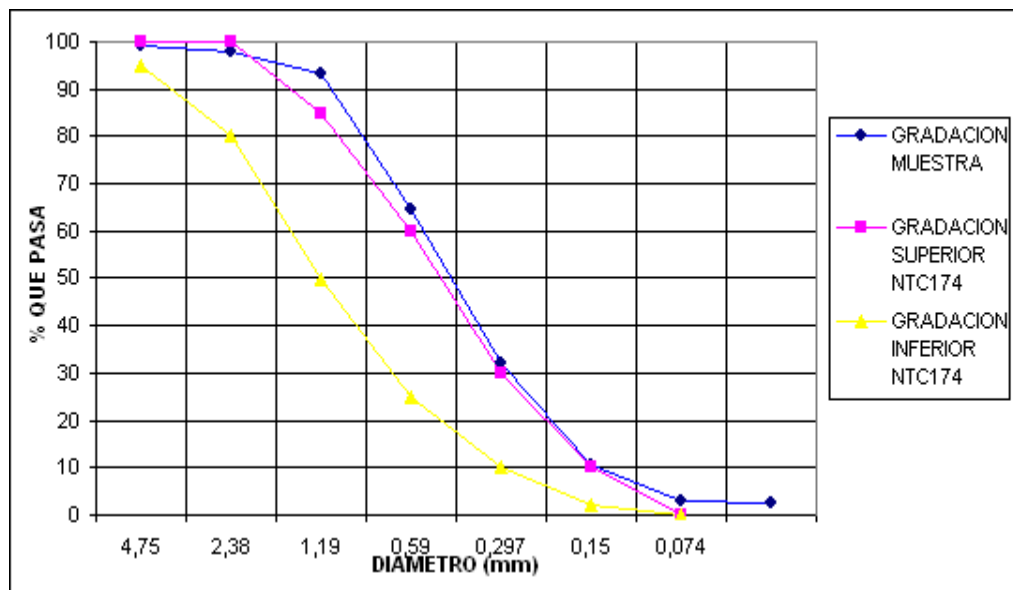
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: ARENAS BOCA
OBSERVACION: MUESTRA #2 ARENA GRUESA

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 600,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 585,65
 PORCENTAJE DE ERROR % : 2,39
 HUMEDAD %: 1,95

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO (gr)	%	% RETENIDO ACUMULADO	%	NTC 174	
						QUE PASA	L. Super
#4	4,75	4,5	0,75	0,75	99,25	100	95
#8	2,38	9,2	1,53	2,28	97,72	100	80
#16	1,19	27,96	4,66	6,94	93,06	85	50
#30	0,59	170,86	28,48	35,42	64,58	60	25
#50	0,297	194,63	32,44	67,86	32,14	30	10
#100	0,15	129,16	21,53	89,39	10,62	10	2
#200	0,074	46,26	7,71	97,10	2,91	0	0
PASA 200		3,08	0,51	97,61	2,39		
TOTAL		585,65					

MODULO FINURA **2,026**

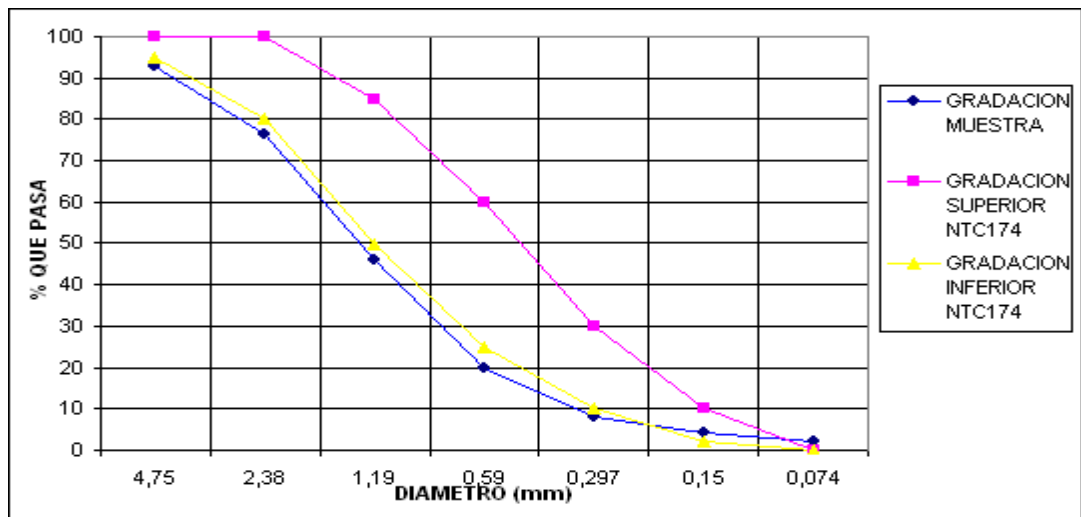


ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO

PROCEDENCIA: ARENA PESADERO
DESCRIPCIÓN: APARIENCIA GRUESA

PESO DE LA MUESTRA ANTES DE LAVADO SOBRE TAMIZ 200 (gr) : 600,00
 PESO DE LA MUESTRA SECA DESPUES DE LAVADA (gr) : 543,20
 PORCENTAJE DE ERROR % : 9,47
 HUMEDAD % : 2,67

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO RETENIDO (gr)	%	% RETENIDO ACUMULADO	%	NTC 174	
						QUE PASA	L. Super
#4	4,75	44,1	7,35	7,35	92,65	100	95
#8	2,38	98	16,33	23,68	76,32	100	80
#16	1,19	182,20	30,37	54,05	45,95	85	50
#30	0,59	156,20	26,03	80,08	19,92	60	25
#50	0,297	71,50	11,92	92,00	8,00	30	10
#100	0,15	22,6	3,77	95,77	4,23	10	2
#200	0,074	12,7	2,12	97,88	2,12	0	0
PASA 200		0,00	0,00	97,88	2,12		
TOTAL		543,20					
MODULO FINURA					3,529		



GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO FINO
PROCEDENCIA: GIRON 2
MUESTRA: #2
DESCRIPCION: APARIENCIA DE LA ARENA GRUESA , MAL OLOR
NORMA : INV E-217-222

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso del frasco + agua hasta la marca, en el aire	<u>659,4</u>	Gramos
B =	Peso de la muestra en condicion S.S.S en el aire.....	<u>500</u>	Gramos
C =	Peso de la muestra,frasco y agua agregada hasta la marca en el aire.....	<u>967</u>	Gramos
D =	Peso de la muestra secada al horno	<u>494,9</u>	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	$D / (A - C + D) =$	<u>2,64</u>	
Gravedad especifica aparente	$D / (A + B - C) =$	<u>2,57</u>	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$B / (A + B - C) =$	<u>2,60</u>	(E)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor	<u>2835</u>	Litros
Pm =	Peso del medidor vacio.....	<u>2525</u>	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	<u>7580</u>	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	<u>7199</u>	Gramos

CALCULOS :

F = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	<u>1783,07</u>	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	<u>1648,68</u>	Kg / m3

% de absorcion.....	$(B - D) \times 100 / C =$	<u>0,53</u>	%
---------------------	----------------------------	-------------	---

% de vacios	$(E \times 1000 - F) / E \times 10 =$	<u>31,39</u>	%
-------------------	---------------------------------------	--------------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO FINO
PROCEDENCIA: ARENA BOCAS
LOCALIZACION: RIO NEGRO
MUESTRA: #1
OBSERVACION: APARIENCIA DE LA ARENA FINA
NORMA : INV E-217-222

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso del frasco + agua hasta la marca, en el aire	<u>665,6</u>	Gramos
B =	Peso de la muestra en condicion S.S.S en el aire.....	<u>500,1</u>	Gramos
C =	Peso de la muestra, frasco y agua agregada hasta la marca en el aire...	<u>972,2</u>	Gramos
D =	Peso de la muestra secada al horno	<u>488,8</u>	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	$D / (A - C + D) =$	<u>2,68</u>	
Gravedad especifica aparente	$D / (A + B - C) =$	<u>2,53</u>	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$B / (A + B - C) =$	<u>2,58</u>	(E)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor	<u>2835</u>	Litros
Pm =	Peso del medidor vacio.....	<u>2525</u>	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	<u>6476,66</u>	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	<u>5768,33</u>	Gramos

CALCULOS :

F = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	<u>1393,88</u>	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	<u>1144,03</u>	Kg / m3

% de absorcion.....	$(B - D) \times 100 / C =$	<u>1,16</u>	%
---------------------	----------------------------	-------------	---

% de vacios	$(E \times 1000 - F) / E \times 10 =$	<u>46,07</u>	%
-------------------	---------------------------------------	--------------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO FINO
PROCEDENCIA: ARENA BOCAS
LOCALIZACION: RIO NEGRO
MUESTRA: #2
OBSERVACION: APARIENCIA DE LA ARENA GRUESA
NORMA : INV E-217-222

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso del frasco + agua hasta la marca, en el aire	<u>659</u>	Gramos
B =	Peso de la muestra en condicion S.S.S en el aire.....	<u>500</u>	Gramos
C =	Peso de la muestra, frasco y agua agregada hasta la marca en el aire.....	<u>965,2</u>	Gramos
D =	Peso de la muestra secada al horno	<u>482,6</u>	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	$D / (A - C + D) =$	<u>2,74</u>	
Gravedad especifica aparente	$D / (A + B - C) =$	<u>2,49</u>	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$B / (A + B - C) =$	<u>2,58</u>	(E)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor	<u>2835</u>	Litros
Pm =	Peso del medidor vacio.....	<u>2525</u>	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	<u>6900</u>	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	<u>6190</u>	Gramos

CALCULOS :

F = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	<u>1543,21</u>	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	<u>1292,77</u>	Kg / m3

% de absorcion.....	$(B - D) \times 100 / C =$	<u>1,80</u>	%
---------------------	----------------------------	-------------	---

% de vacios	$(E \times 1000 - F) / E \times 10 =$	<u>40,19</u>	%
-------------------	---------------------------------------	--------------	---

GRAVEDAD ESPECIFICA Y PESO UNITARIO

MATERIAL: AGREGADO FINO
PROCEDENCIA: PROVEDOR AVENDAÑO SAENZ LTDA
LOCALIZACION: PESCADERO
OBSERVACION: APARIENCIA DE LA ARENA GRUESA
NORMA : INV E-217-222

GRAVEDADES ESPECIFICAS

DATOS :

A =	Peso del frasco + agua hasta la marca, en el aire	<u>659,3</u>	Gramos
B =	Peso de la muestra en condicion S.S.S en el aire.....	<u>500</u>	Gramos
C =	Peso de la muestra,frasco y agua agregada hasta la marca en el aire.....	<u>967,5</u>	Gramos
D =	Peso de la muestra secada al horno	<u>493,1</u>	Gramos

CALCULOS :

Gravedad especifica real	$D / (A - C + D) =$	<u>2,67</u>	
Gravedad especifica aparente	$D / (A + B - C) =$	<u>2,57</u>	
Gravedad especifica aparente S.S.S	$B / (A + B - C) =$	<u>2,61</u>	(E)

PESO UNITARIO

DATOS :

V=	Volumen del medidor	<u>2835</u>	Litros
Pm =	Peso del medidor vacio.....	<u>2525</u>	Gramos
Pc =	Peso del medidor + material S.S.S, compactado	<u>7585</u>	Gramos
Ps =	Peso del medidor + material S.S.S, suelto	<u>7196,66</u>	Gramos

CALCULOS :

F = Peso unitario del agregado S.S.S compactado	$(Pc - Pm) / V =$	<u>1784,83</u>	Kg / m3
Peso unitario del agregado S.S.S suelto	$(Ps - Pm) / V =$	<u>1647,85</u>	Kg / m3

% de absorcion.....	$(B - D) \times 100 / C =$	<u>0,71</u>	%
---------------------	----------------------------	-------------	---

% de vacios	$(E \times 1000 - F) / E \times 10$ =	<u>31,53</u>	%
-------------------	--	--------------	---

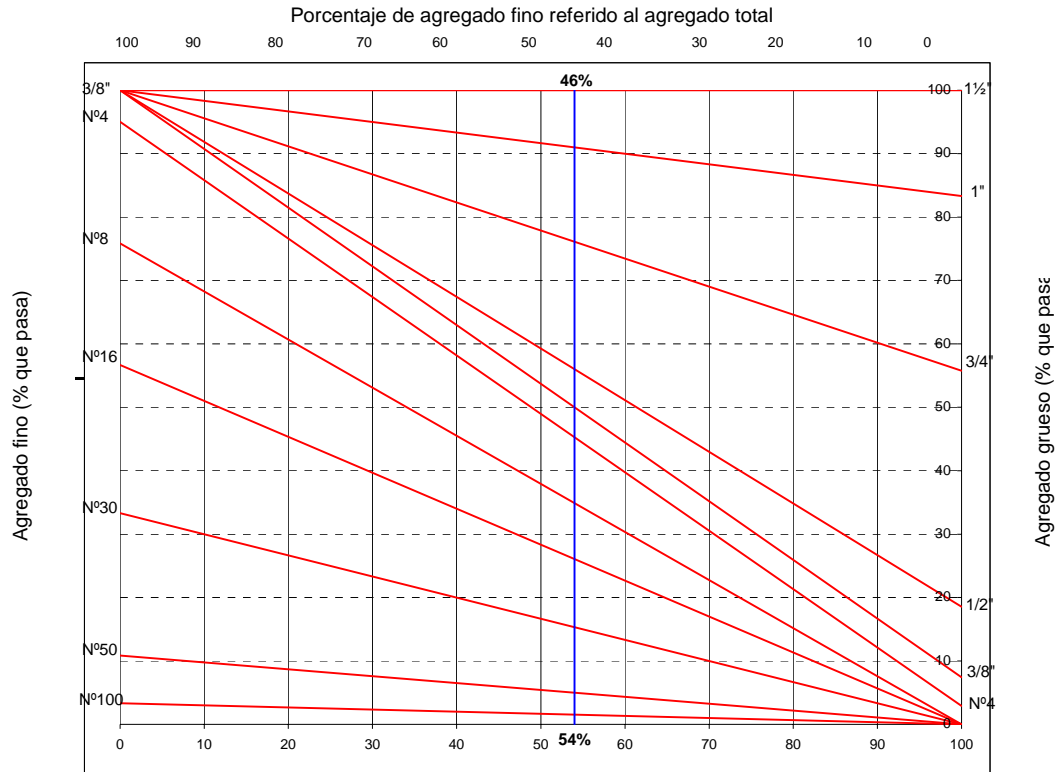
ANEXO 3
MÈTODO GRÀFICO PARA COMBINACIÒN DE
AGREGADOS

METODO GRAFICO PARA DOSIFICACION DE AGREGADOS

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA GIRON
 OBSERVACION: MEZCLA E1
 PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA LA ESMERALDA
 OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"

AGREGADO FINO	TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	36,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100	0,075 200	PASA 200
	Peso retenido (g)							30	115	115	140	135	45	10	
	% Retenido							5,0	19,2	19,2	23,3	22,5	7,5	1,7	
	% Acumulado							5,0	24,2	43,3	66,7	89,2	96,7	98,3	98,3
	% que Pasa							100,0	95,0	75,8	56,7	33,3	10,8	3,3	1,7

AGREGADO GRUESO	TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	38,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100	0,075 200	PASA 200
	Peso retenido (g)			823,66	1362,5	1839	549,5	223							47,5
	% Retenido			16,7	27,6	37,2	11,1	4,5							0,317
	% Acumulado			16,7	44,2	81,5	92,6	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
	% que Pasa	100,0	100,0	83,3	55,8	18,5	7,4	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9



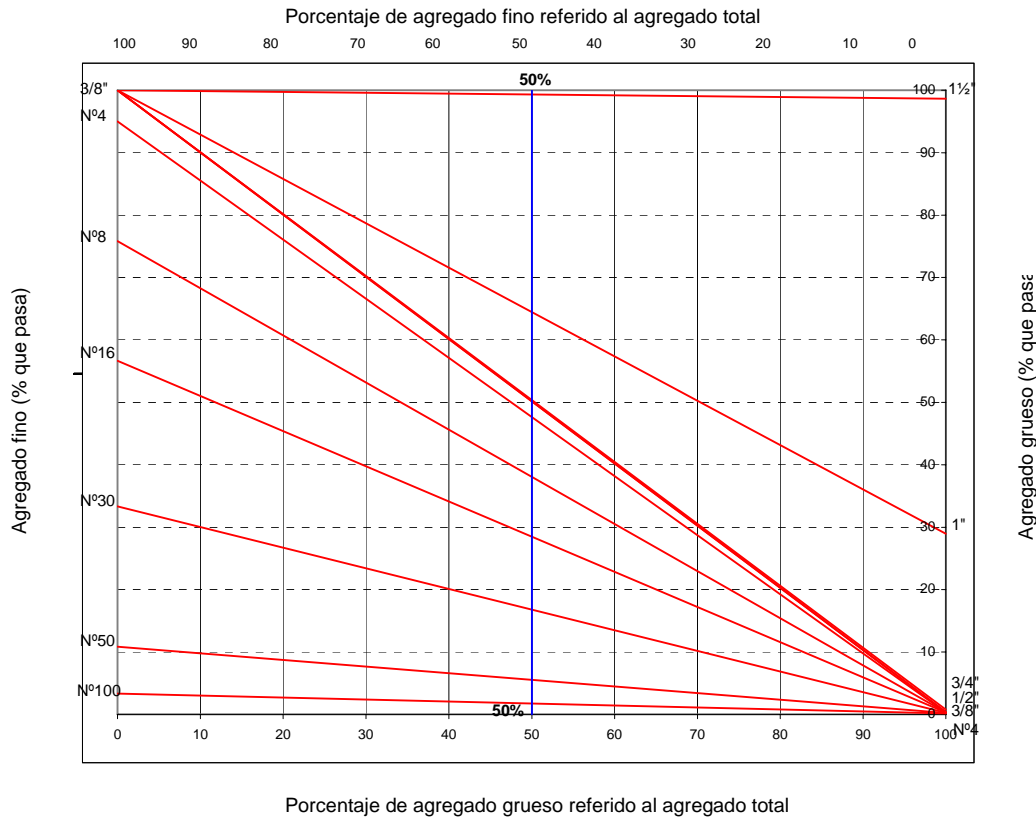
GRANULOMETRIA OPTIMA PARA AGREGADOS													
TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150	
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	
% que Pasa NORMA	100	100	87-80	79-68	68-55	62-47	48-32	38-22	30-15	23-10	18-7	14-5	
% que Pasa	100	100	91,00	76,11	56,01	50,01	45,27	34,88	26,07	15,33	4,98	1,54	

METODO GRAFICO PARA DOSIFICACION DE AGREGADOS

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA GIRON
OBSERVACION: MEZCLA E2
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA LA ESMERALDA
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"

AGREGADO FINO	TAMIZ (mm)	50,80	36,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150	0,075	PASA	
	(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	200	200	
	Peso retenido (g)							30	115	115	140	135	45	10		
	% Retenido							5,0	19,2	19,2	23,3	22,5	7,5	1,7		
	% Acumulado							5,0	24,2	43,3	66,7	89,2	96,7	98,3	98,3	
	% que Pasa							100,0	95,0	75,8	56,7	33,3	10,8	3,3	1,7	1,7

AGREGADO GRUESO	TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150	0,075	PASA
	(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	8	16	30	50	100	200	200
	Peso retenido (g)		134,22	6970	2820	36,15	6,51	2,63	0,27	0,67	1,67	4,31	7,59	8,47	5,0
	% Retenido		1,3	69,7	28,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
	% Acumulado		1,3	71,0	99,2	99,6	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,8	99,8	99,9	100,0
	% que Pasa		100,0	98,7	29,0	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0



GRANULOMETRIA OPTIMA PARA AGREGADOS

TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	8	16	30	50	100
% que Pasa NORMA	100	90-85	78-68	71-58	61-46	56-40	44-27	34-19	27-13	21-9	16-6	13-4
% que Pasa	100	99,33	64,48	50,17	50,17	50,17	47,65	38,07	28,48	16,81	5,53	1,75

METODO GRAFICO PARA DOSIFICACION DE AGREGADOS GRUESOS

PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO 1: TRITURADORA LA ESMERALDA

OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO 1½"

PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO 2: TRITURADORA LA ESMERALDA

OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO 2"

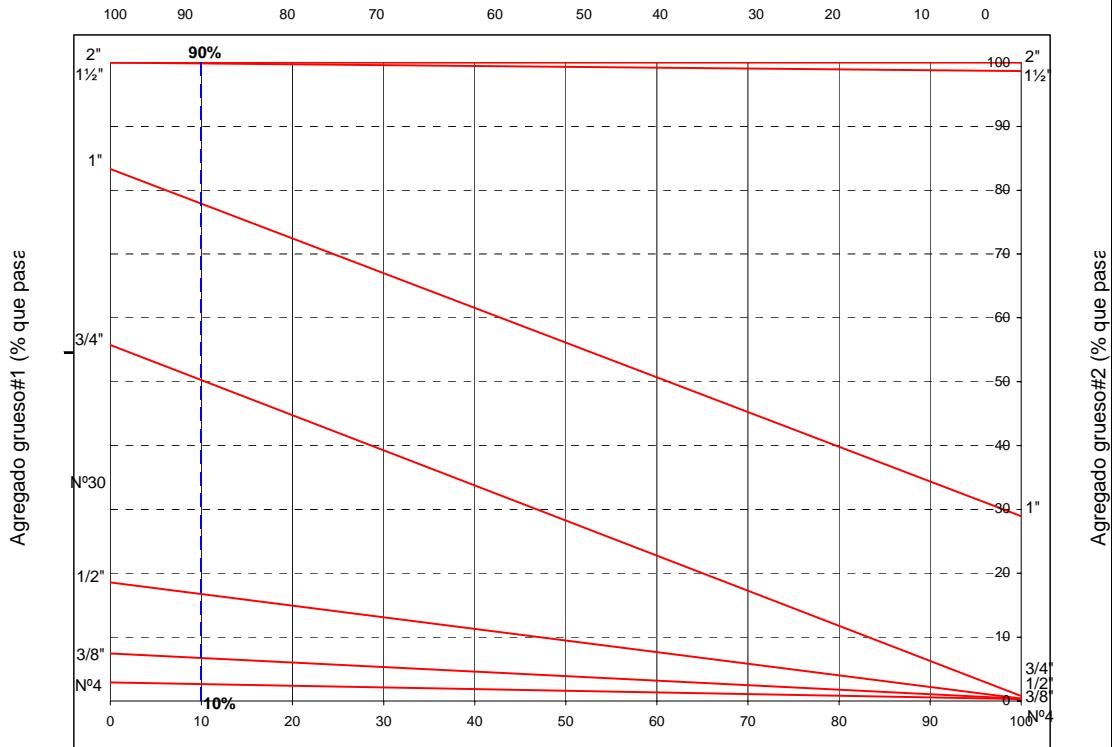
AGREGADO GRUESO #1

TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150	0,075
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	8	16	30	50	100	200
Peso retenido (g)			823,66	1362,5	1839	549,5	223						
% Retenido			16,7	27,6	37,2	11,1	4,5						
% Acumulado			16,7	44,2	81,5	92,6	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
% que Pasa	100,0	100,0	83,3	55,8	18,5	7,4	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9

AGREGADO GRUESO #2

TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150	0,075
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	8	16	30	50	100	200
Peso retenido (g)		134,22	6970	2820	36,15	6,51	2,63	0,27	0,67	1,67	4,31	7,59	8,47
% Retenido		1,3	69,7	28,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
% Acumulado		1,3	71,0	99,2	99,6	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,8	99,8	99,9
% que Pasa	100,0	98,7	29,0	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1

Porcentaje de agregado grueso#1 referido al agregado total



Porcentaje de agregado grueso#2 referido al agregado total

TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4
% que Pasa NORMA	100	100	78-68	64-48	47-25	36-13	14-0
% que Pasa	100	99,87	77,90	50,26	16,73	6,71	2,65

METODO GRAFICO PARA DOSIFICACION DE AGREGADOS

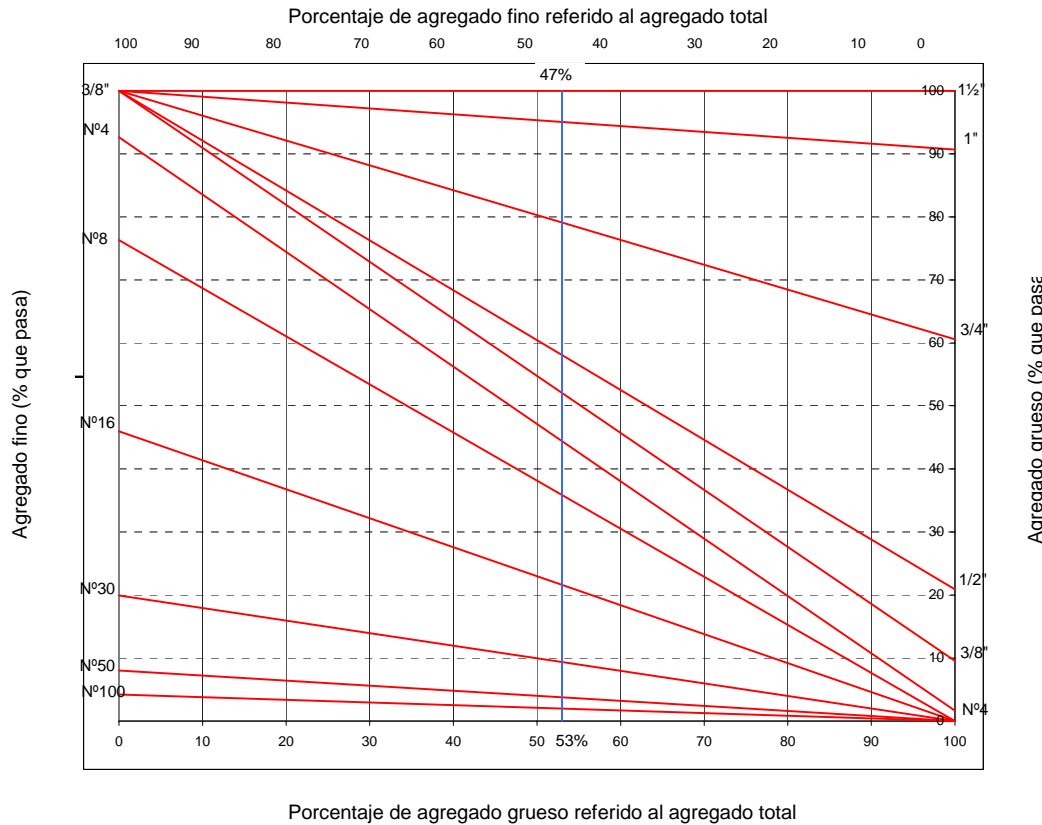
PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA C1
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA EL CRISTAL
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1"

AGREGADO FINO

TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	36,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100	0,075 200	PASA 200
Peso retenido (g)							44,1	98	182,2	156,2	71,5	22,6	12,7	
% Retenido							7,4	16,3	30,4	26,0	11,9	3,8	2,1	
% Acumulado							7,4	23,7	54,1	80,1	92,0	95,8	97,9	97,9
% que Pasa							100,0	92,7	76,3	46,0	19,9	8,0	4,2	2,1

AGREGADO GRUESO

TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	38,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 8	1,10 16	0,60 30	0,30 50	0,150 100	0,075 200	PASA 200
Peso retenido (g)			462	1496,5	1969	562,5	393							49,5
% Retenido			9,3	30,1	39,7	11,3	7,9							1,0
% Acumulado			9,3	39,5	79,1	90,5	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	98,4	99,4
% que Pasa	100,0	100,0	90,7	60,5	20,9	9,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,6



GRANULOMETRIA OPTIMA PARA AGREGADOS

TAMIZ (mm)	50,80	38,10	25,40	19,05	12,70	9,53	4,75	2,36	1,10	0,60	0,30	0,150
(pulg)	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	#4	8	16	30	50	100
% que Pasa NORMA	100	100	87-80	79-68	68-55	62-47	48-32	38-22	30-15	23-10	18-7	14-5
% que Pasa	100	100	95,07	79,09	58,07	52,06	44,41	35,87	21,60	9,36	3,77	2,00

METODO GRAFICO PARA DOSIFICACION DE AGREGADOS

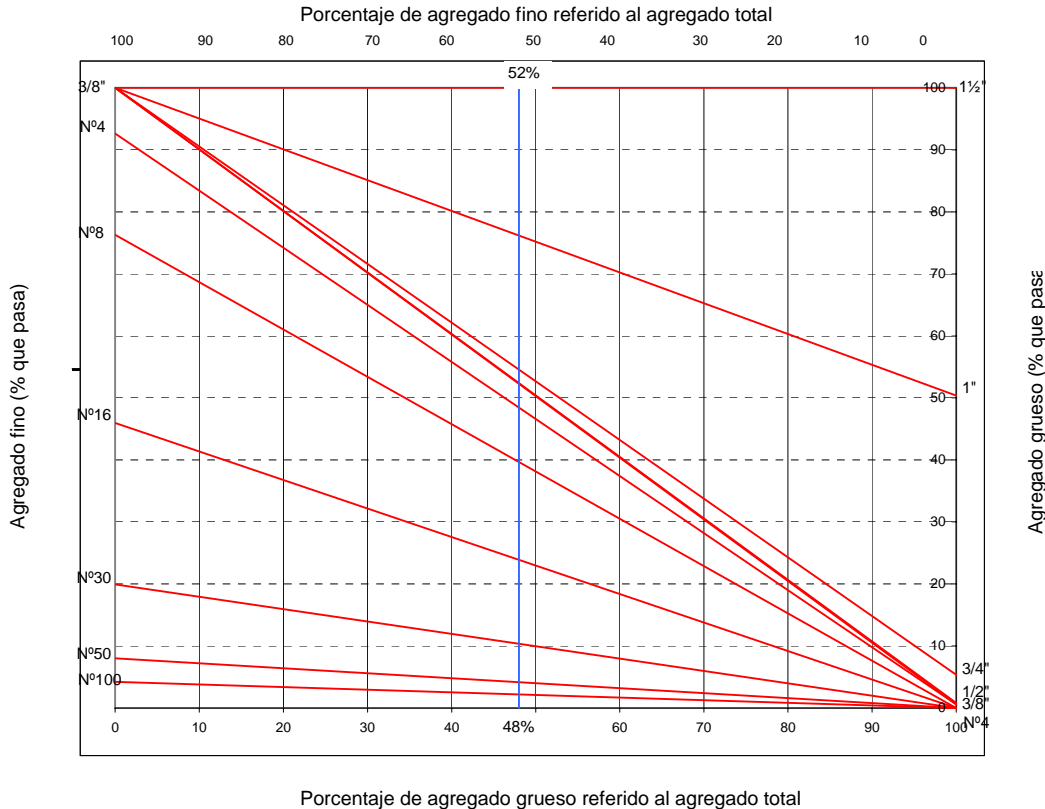
PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA C2
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA EL CRISTAL
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"

AGREGADO FINO

TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	36,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100	0,075 200	PASA 200	
Peso retenido (g)							44,1	98	182,2	156,2	71,5	22,6	12,7		
% Retenido							7,4	16,3	30,4	26,0	11,9	3,8	2,1		
% Acumulado							7,4	23,7	54,1	80,1	92,0	95,8	97,9	97,9	
% que Pasa							100,0	92,7	76,3	46,0	19,9	8,0	4,2	2,1	2,1

AGREGADO GRUESO

TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	38,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100	0,075 200	PASA 200
Peso retenido (g)			2478	2247,5	226,5	13								5,0
% Retenido			49,6	45,0	4,5	0,3								0,1
% Acumulado			49,6	94,6	99,2	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,4	99,5
% que Pasa	100,0	100,0	50,4	5,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5



GRANULOMETRIA OPTIMA PARA AGREGADOS

TAMIZ (mm) (pulg)	50,80 2"	38,10 1½"	25,40 1"	19,05 ¾"	12,70 ½"	9,53 ⅜"	4,75 #4	2,36 #8	1,10 #16	0,60 #30	0,30 #50	0,150 #100
% que Pasa NORMA	100	100	87-80	79-68	68-55	62-47	48-32	38-22	30-15	23-10	18-7	14-5
% que Pasa	100	100	76,18	54,57	52,27	52,39	48,45	39,69	23,90	10,36	4,16	2,21

ANEXO 4

DISEÑO DE MEZCLAS PRESELECCIONADAS

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA No. C1
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA EL CRISTAL
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	1½"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.5
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGÚN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	179
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	448
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	57
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	43
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,6
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,49
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,54
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1712

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO		PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3	
				H %	A Kg/m3	SUELTO gr/cm3	COMPA gr/cm3		
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	448	3,07	146		448		1,4		320
AGUA	179	1	179		170,23		1		170
CONTENIDO DE AIRE	1,5	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	976	2,49	392	0,74	983,341	1,38	1,47	1,58	669
AGREGADO FINO	736	2,6	283	2,67	756,031	0,63	1,65	1,78	459
TOTAL	2340		1000		2357				1618

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA No. C2
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA EL CRISTAL
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	1½"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.5
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGÚN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	179
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	448
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	48
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	52
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,6
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,5
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,55
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1723

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H %	A Kg/m3	%	SUELTO gr/cm3	COMPA gr/cm3	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	448	3,07	146		448		1,4		320
AGUA	179	1	179		166,18		1		166
CONTENIDO DE AIRE	1,5	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	827	2,5	331	0,74	832,936	1,4	1,53	1,63	544
AGREGADO FINO	896	2,6	345	2,67	919,635	0,63	1,65	1,78	558
TOTAL	2351		1000		2366				1588

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA No. C3
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA EL CRISTAL
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	2"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.0
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGUN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	168
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	420
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	55
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	45
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,6
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,53
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,56
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1780

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H	A	SUELTO gr/cm3	COMPA gr/cm3		
				%	Kg/m3			%	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	420	3,07	137		420		1,4		300
AGUA	168	1	168		158,14		1		158
CONTENIDO DE AIRE	1.0	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	979	2,53	387	0,75	986,568	1,41	1,51	1,61	653
AGREGADO FINO	801	2,6	308	2,67	822,551	0,63	1,65	1,78	499
TOTAL	2368		1000		2387				1611

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA GIRON
OBSERVACION: MEZCLA No. E1
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA LA ESMERALDA
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	1½"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1,5
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGUN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	179
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	448
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	54
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	46
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,58
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,48
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,53
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1705

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H	A	SUELTO gr/cm3	COMPA gr/cm3		
				%	Kg/m3			%	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	448	3,07	146		448		1,4		320
AGUA	179	1	179		157,95		1		158
CONTENIDO DE AIRE	1,5	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	921	2,48	371	1,18	931,554	1,27	1,49	1,60	625
AGREGADO FINO	784	2,58	304	3,28	810,016	0,49	1,65	1,78	491
TOTAL	2333		1000		2347				1594

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA GIRON
OBSERVACION: MEZCLA No. E2
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA LA ESMERALDA
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1½"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	2"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.0
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGUN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	168
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	420
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	50
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	50
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,58
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,49
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,53
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1762

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3	
				H		A		SUELTO gr/cm3		COMPA gr/cm3
				%	Kg/m3	%				
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	420	3,07	137		420		1,4		300	
AGUA	168	1	168		154,08		1		154	
CONTENIDO DE AIRE	1.0	-	0		0					
AGREGADO GRUESO	881	2,49	354	1,18	891,273	2,39	1,43	1,57	623	
AGREGADO FINO	881	2,58	341	3,28	909,771	0,49	1,65	1,78	552	
TOTAL	2350		1000		2375				1630	

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA GIRON
OBSERVACION: MEZCLA No.E3
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: TRITURADORA LA ESMERALDA
OBSERVACION: COMBINACION DE AGREGADOS DE TAMAÑO MAXIMO 1½" Y TAMAÑO MAXIMO 2"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	2"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.0
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGUN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	168
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	420
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	64
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	36
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,58
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,481
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,52
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1749

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H	A	SUELTO gr/cm3	COMPA gr/cm3		
				%	Kg/m3			%	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	420	3,07	137		420		1,4		300
AGUA	168	1	168		152,71		1		153
CONTENIDO DE AIRE	1.0	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	1119	2,481	451	1,176	1132,48	1,379	1,49	1,60	763
AGREGADO FINO	630	2,58	244	3,28	650,267	0,49	1,65	1,78	395
TOTAL	2337		1000		2355				1610

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA No. P1
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: PLANTA AVENDAÑO-SAENZ
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	1"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.5
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGÚN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	192
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	480
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	52
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	48
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,6
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,64
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,62
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1708

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H	A	SUELTO	COMPA		
				%	Kg/m3	%	gr/cm3	gr/cm3	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	480	3,07	156		480		1,4		343
AGUA	192	1	192		167,55		1		168
CONTENIDO DE AIRE	1.5	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	888	2,64	336	1,7	903,121	0,83	1,48		610
AGREGADO FINO	820	2,6	315	2,67	841,602	0,63	1,65	1,78	511
TOTAL	2380		1000		2392				1631

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO

PROCEDENCIA AGREGADO FINO: ARENA PESCADERO
OBSERVACION: MEZCLA No. P2
PROCEDENCIA AGREGADO GRUESO: PLANTA AVENDAÑO-SAENZ
OBSERVACION: TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1 1/2"
DESCRIPCIÓN: DISEÑO DE 4500 PSI

PARAMETROS DE DISEÑO	OBSERVACIÓN	UNIDAD	VALOR PARA DISEÑO
ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA SEMI-SECA, COLOCACION CON MAQUINAS OPERADAS	mm	100
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	SEGÚN GRANULOMETRIA	pulg	1½"
CONTENIDO DE AIRE	FACTOR DE SEGURIDAD	%	1.5
CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	SEGÚN ASENTAMIENTO, TAMAÑO MAXIMO, FORMA Y TEXTURA AGREGADO GRUESO	Kg/m3	179
RESISTENCIA DE DISEÑO	NO HAY ESTADISTICA DE LOS MATERIALES	Kg/m2	350
RESISTENCIA ESPECIFICADA		Kg/m2	315
RELACION AGUA CEMENTO	SEGÚN RESISTENCIA DISEÑO	A/C	0,4
CONTENIDO DE CEMENTO		Kg/m3	448
DOSIFICACIÓN AGREGADO GRUESO	METODO GRAFICO	%	53
DOSIFICACIÓN AGREGADO FINO	METODO GRAFICO	%	47
DENSIDAD APARENTE SECA FINOS	ENSAYO	gr/cm3	2,49
DENSIDAD APARENTE SECA GRUESOS	ENSAYO	gr/cm3	2,55
DENSIDAD APARENTE SECA MEZCLA		gr/cm3	2,52
PESO SECO DE AGREGADOS COMBINADOS		Kg/m3	1703

PESO Y VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS INGREDIENTES POR METRO CUBICO

INGREDIENTE	PESO SECO Kg/m3	PESO ESPECIFICO gr/cm3	VOLUMEN ABSOLUTO L/m3	PESO HUMEDO			PESO UNITARIO		PROPORCION EN VOLUMNE SUELTO L/m3
				H		A	SUELTO	COMPA	
				%	Kg/m3	%	gr/cm3	gr/cm3	
CEMENTO PORTLAND TIPO 1	448	3,07	146		448		1,4		320
AGUA	179	1	179		184,06		1		184
CONTENIDO DE AIRE	1.5	-	0		0				
AGREGADO GRUESO	902	2,55	354	0,24	904,526	0,93	1,41	1,57	641
AGREGADO FINO	800	2,49	321	1,95	815,777	1,8	1,29	1,54	631
TOTAL	2329		1000		2352				1776

