

USO DE MATERIALES CON ALTOS CONTENIDOS DE MICROFINOS EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS.

Armando José Rivero Galvis
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
2014

USO DE MATERIALES CON ALTOS CONTENIDOS DE MICROFINOS EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS.

Armando José Rivero Galvis
Ingeniero Civil – Especialista en Ingeniería de Pavimentos
ingarivero@yahoo.com.ar

RESUMEN. Ampliando las posibilidades de usar materiales en las estructuras de pavimento que contengan microfinos en su gradación, se tendrá una opción adicional de ahorro ambiental, económico y logístico en los proyectos de construcción y rehabilitación de pavimentos. El comportamiento que una estructura vial tendrá durante su vida útil es un claro reflejo de su proceso constructivo, lo cual va más allá de su diseño, es por esto que los procedimientos y controles en obra son vitales y definitivos al momento de obtener estructuras durables. Actualmente en Colombia se encuentran microfinos como subproducto resultante de muchas actividades los cuales se pueden almacenar, reutilizar y viabilizar su uso, iniciando con la estructura soporte del urbanismo hasta lograr incluirlos en las estructuras de los pavimentos.

Palabras claves: microfinos, agregados, pavimentos, reciclaje, durabilidad, Concreto hidráulico.

ABSTRACT. In order to expand the possibilities of using materials in the pavement structures which contain microfinos in its granulometry. It will obtain an additional option of environmental, economic and logistic saving in the construction and rehabilitation of pavement. The behaviour that a road structure will have during its useful life is a clear reflect of its constructive process, it means that it is more important that it is design. In this way, the process and controls in construction are vital and definitive in order to get durable structures. Now days, in Colombia it is used microfine as sub- products of a lot of activities which can be stored, reused as well as feasible its use, starting with the support structure of the urbanism until getting including in the pavement structures.

Key words: microfinos, pavement, recycling, durability, concrete.

INTRODUCCIÓN

Como complemento a las investigaciones que se realizan en Colombia con el fin de establecer las especificaciones de los agregados para Concretos tales como la Norma ICONTEC 174, se presenta esta alternativa para el uso de microfinos en forma puntual a los agregados finos de la zona norte de Colombia. Según Quiroga [1] en estos momentos se está dando un cambio en la normatividad Europea y en general a nivel mundial que permite dosificar mayores porcentajes de microfinos en los agregados para el Concreto hidráulico, obteniendo un ahorro ambiental significativo así como en los en costos producción, tiempos y maquinaria.

Los proyectos de inversión que involucren demolición de pavimentos de concreto hidráulico no viabilizan el reciclaje de este desecho; el alto contenido de microfinos

es una de las causas principales; los granulares subyacentes a la rodadura pueden mezclarse con estos sobrantes previamente tratados viabilizando su uso más aún si se tienen en cuenta que han sido ejecutados con recursos públicos [2]; el criterio de durabilidad del producto final debe garantizarse siendo este un parámetro de mucho control en las estructuras de pavimento. La resistencia del concreto hidráulico se ve directamente afectada por el uso de partículas finas, sin embargo la gama de resistencias bajas que se utiliza en los proyectos de carreteras viabilizan su uso, siempre y cuando se dispongan de medidas de control y planeación del recurso en estudio. [3]

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL USO DE MICROFINOS

El uso sostenible de los microfinos no es una práctica común en Colombia, razón por la cual no se ha visto la necesidad de ampliar los rangos permitidos para la fabricación del Concreto hidráulico, uso de granulares y/o inclusión de capas con microfinos en la rehabilitación de pavimentos, logrando generar de esta forma un impacto favorable al medio ambiente tal como lo realizan las técnicas modernas en rehabilitación de aeródromos las cuales ya incluyen el aprovechamiento de los microfinos.

Investigaciones recientes realizadas por Quiroga [1] han detectado que en países industrializados como los Estados Unidos no es posible conseguir arena de río de buena calidad y en forma económica para la fabricación de concretos y morteros hidráulicos. Por lo anterior se ha masificado el uso de la arena triturada la cual difiere de la arena de río no solo en forma y textura sino también en granulometría. Generalmente las arenas trituradas tienen una gradación gruesa con un pasa tamiz No. 200 entre 10% y 20%; estos microfinos pueden contener en su mineralogía partículas nocivas para el concreto. Las normas NTC 174 y ASTM C33, permiten contenido máximo de microfinos del 7% (5% si el concreto no está sometido a abrasión) si estos provienen de trituración y están libres de arcilla, esta norma limita la capacidad de microfinos que se pueden utilizar aun si estos contribuyen a mejorar el comportamiento del concreto y a disminuir los costos económicos y ambientales de la producción del concreto. Siguiendo con los datos referenciados por Quiroga [1], en Francia y España utilizan valores alrededor del 15% dependiendo de su uso, mientras que algunos otros tienen límites tan altos como 25% así:

- Australia: Uso normal hasta 10% pero para agregados subyacentes 25%.
- Francia: de 12 a 18% dependiendo de su uso
- India: Uso normal hasta 15% pero con pruebas de desempeño hasta 20%.
- España: 15%
- Europa: 16% de un % pasa tamiz No. 230 (63 μ m)
- Sudáfrica: 10%

- Colombia. Ver tabla 1

Tabla 1. Límites para sustancias dañinas en el agregado fino para concreto

Material	Máximo porcentaje del peso total de la muestra
Terrones de arcilla y partículas deleznales	3,0
Material que pasa el tamiz 75 µm (No. 200):	
Concreto sujeto a abrasión	3,0 (a)
Todos los demás concretos	5,0 (a)
Carbón o lignito:	
Donde la apariencia superficial del concreto sea de importancia.	0,5
Todos los demás concretos	1,0

- a) En el caso de arena triturada, si el material que pasa el tamiz 75 µm (No. 200) contiene polvo de trituración libre de arcilla o esquistos, estos límites pueden incrementarse al 5 % y 7 %, respectivamente.

Fuente: NORMA Colombiana NTC 174.

No todas las arenas trituradas pueden utilizarse para mezclas de concreto; es un imperativo caracterizarlas puesto que aquellas que provienen de trituración de rocas de origen arcilloso no son adecuadas debido a que desmejoran la manejabilidad de la mezcla y afectan ostensiblemente la resistencia a la compresión.

Investigaciones y experiencias en investigaciones de campo [4] han podido concluir que es posible fabricar concretos de calidad con buena manejabilidad usando arena triturada con alto contenido de microfinos, sin embargo, como no todos los tipos de microfinos tiene el mismo efecto en el comportamiento del concreto se hace muy necesario determinar si estos son apropiados para su uso. Con el fin de analizar y evaluar los microfinos se han sugerido ensayos como azul de metileno que se utiliza para identificar arcillas nocivas para el concreto, igualmente los ensayos de mineralogía especializada como la petrografía, tamaño de las partículas, porosidad, contenido de materia orgánica e hidróxido de hierro; valores altos de estos ensayos podrían indicar problema potenciales. Otros ensayos como el de demanda de agua tratan de predecir cuantitativamente su efecto en el comportamiento del concreto. Otras investigaciones también han sugerido que el grado de empaquetamiento (relación volumen de sólido / sobre volumen total) brinda información de entrada a la toma de decisiones, todo lo anterior buscando una caracterización completa no solo del agregado individual sino de su desempeño dentro de la mezcla de concreto.

La técnica y/o ensayo parametrizado de la barra de mortero utilizada ampliamente por los laboratorios de concretos para viabilizar el uso de arenas de trituración con excesos de microfinos consiste en conformar una viga de mortero de dimensiones 5x5x15 cm y dejarla secar al horno unas horas a temperatura constante, analizando posteriormente que tanto se contrajo o si aparecen fisuras en la superficie; con este primer resultado y apoyados en los valores de equivalentes de arenas bajo norma INV-E133/13 y azul de metileno bajo norma INV-E182/13 se decide la pertinencia del

envío de la muestra a laboratorios especializados para ensayos normatizados de petrografía y definir el uso en las mezclas de Concreto hidráulico. Estas técnicas a pesar de no estar normalizadas en Colombia si brindan información valiosa y permiten reducir la incertidumbre al momento de la toma de decisiones las cuales siempre tienen un impacto económico directo.

Los límites que actualmente imponen la Norma ASTM C33 (iguales a los de la NTC 174) a la cantidad de microfinos en arenas provenientes de trituración para la fabricación del Concreto hidráulico ha dado lugar a incrementos en los costos de producción de agregados y a la acumulación de miles de toneladas de microfinos en las plantas de producción de agregados, potencializando la contaminación de quebradas, ríos y del medio ambiente en general.

Dentro de las mayores limitantes de tipo constructivo que generan los microfinos y en general las arenas de trituración es la reducción en la manejabilidad del concreto, para lo cual se ha masificado el uso de aditivos plastificantes y/o fluidificantes de mediano y alto rango de nueva generación, subsanando dicho fenómeno y permitiendo concretos con la manejabilidad deseada en obra sin incrementos significativos en los costos de producción.

2. MIRADA PROSPECTIVA DEL USO DE MICROFINOS

2.1 RECICLAJE DE CONCRETOS EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

Diferentes estudios en Suramérica como los realizados por Soto [6] y Letelier [5] han demostrado que utilizar dentro de los materiales pétreos para el Concreto hidráulico un porcentaje de concretos reciclados resulta totalmente favorable en el desempeño a corto y largo plazo del elemento estructural; la interfaz que resulta del mortero adherido al agregado reciclado es totalmente equivalente a la adición de microfinos en la mezcla de concreto.

El aprovechamiento de los residuos de las demoliciones en las obras civiles ha ido en aumento en la medida que se realizan estudios y se establecen procedimientos adecuados para garantizar las buenas prácticas de la ingeniería. Según Letelier [5] el hecho que los problemas ambientales sean de mucho interés en diferentes áreas de la ciencia, ha conllevado a la búsqueda e implementación de metodologías para disminuir el impacto que causa el hombre sobre el medio ambiente durante su continua evolución. El área de la construcción, dentro de las distintas alternativas, está estudiando el uso de áridos reciclados provenientes de la demolición de obras civiles para reutilizarlos en la fabricación de un nuevo concreto hidráulico. Esto permitiría disminuir el consumo de fuentes no renovables, obtenidas de actividades extractivas y, al mismo tiempo, reducir la cantidad de escombros de demolición que termina en los vertederos.

Para el estudio del mortero adherido a los agregados pétreos reciclados, es importante emplear procedimientos químicos y mecánicos para diferenciar la calidad del mismo que viene asociada a la resistencia del concreto original. La dosificación de la mezcla para el Concreto hidráulico utilizando áridos reciclados pretende

establecer las cantidades optimas de cemento, agua, áridos naturales, áridos reciclados y aditivos que permitan una determinada trabajabilidad de la mezcla en estado fresco y un valor estipulado de su resistencia a compresión a los 28 días. Dicha dosificación como ocurre en la práctica habitual debe ajustarse en la medida que se obtienen resultados sucesivos particulares en cada proyecto.

Algunas dosificaciones favorables resultantes de investigaciones como las realizadas por Lopez [7] incluyen un porcentaje de áridos reciclados entre 20% y 30% sin aumento en los contenidos de cemento mientras que utilizar porcentajes cercanos al 50% generan incrementos del contenido de cemento hasta del 10%. Cabe resaltar que estos datos están definidos para distintos tipos de materiales y características del Concreto hidráulico a diseñar. Los problemas de trabajabilidad en los áridos reciclados tienden a ser subsanados al someterlos a una pre-saturación de 24 horas, facilitando una absorción controlada al momento del mezclado.

Los resultados de resistencia y durabilidad (desempeño) de las mezclas de Concreto hidráulico utilizando agregados reciclados son totalmente equivalentes a los obtenidos con agregados convencionales; los controles de calidad son igual de rigurosos y orientados a las buenas prácticas de la ingeniería.

2.2 METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN AERÓDROMOS

La metodología descrita por la Federal Aviation Administration (FAA) para la rehabilitación de pavimentos hidráulicos en pistas y plataformas de aeródromos plantea la opción de reutilizar las losas existentes ya deterioradas y que no realizan ningún aporte estructural mediante la pulverización de la matriz de concreto usando pulsaciones y/o golpes estratégicos con martillos de una alta frecuencia.

Esta técnica es ampliamente utilizada en Estados Unidos y se conoce como *Rubblizing*. La práctica constructiva se fundamenta en pasar sobre la franja a intervenir, dejando fracturado y con una densidad relativa suelta el concreto disgregado que luego va a ser aprovechado como una capa granular previo mejoramiento mecánico con vibrocompactación.

El resultado del *Rubblizing* es una capa de base apta y portante sobre la cual se instala la nueva losa de pavimento en concreto rígido. En esta metodología la capa de concreto reciclado queda conformada por los agregados originales de producción y por un alto contenido de microfinos producto de la pulverización y demolición del concreto; la metodología no restringe su contenido y por el contrario viabiliza el uso para estructura de alta trascendencia como son las pistas para aeronaves en las cuales se manejan altos periodos de diseño y pocos o nulos mantenimientos que dificulten la operación cotidiana del aeródromo.

Según la experiencia del Ing. Sanchez [8] obtenida en el mejoramiento del aeropuerto de Atlanta en los Estados Unidos donde hubo la necesidad de intervenir una de las pistas en concreto rígido, la metodología *Rubblizing* involucra el uso de microfinos y viabiliza el reciclaje de las losas existentes. Lo anterior se logra con una

inversión alta en tecnología y maquinaria de vanguardia, con buenos y amplios patios de almacenamiento y una participación activa de las instituciones encargadas de la regulación y control del transporte nacional y local.

Es preciso puntualizar que en la experiencia descrita no todos los agregados reciclados fueron reutilizados en el mismo proyecto aeroportuario; como resultado de la demolición se obtuvieron distintas clases y calidades de bases las cuales fueron distribuidas en distintos proyectos según su envergadura, priorizando la importancia desde el aeropuerto hasta proyectos menores de infraestructura física local.

La opción de mezclar los sobrantes de las demoliciones del Concreto hidráulico con suelos existentes sobrantes de excavación es totalmente válida y fue utilizada en el aeropuerto de Atlanta; dosificaciones de mezclas 1:1 permitieron conseguir materiales de relleno adecuados para actividades de terraplén. En la fabricación de solados, concretos de limpieza o de baja resistencia también se utilizaron concretos reciclados con altos contenidos de microfinos.

El ahorro en rendimiento, tiempos y volúmenes de viaje, uso de maquinaria e inversión en materiales fue totalmente notorio en la rehabilitación de este aeropuerto, en sólo 33 días se ejecutó el tramo principal con ahorros de millones de dólares en inversión sin contar con el aporte sostenible desde el punto de vista ambiental.

2.3 DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad del concreto hidráulico es la capacidad de resistir la agresividad del medio ambiente que lo rodea, de las acciones mecánicas, físicas, químicas o biológicas y /o cualquier otro proceso de deterioro lo cual podría verse afectado por la inclusión de nuevos agentes como los microfinos.

Entre los factores que determinan la durabilidad de una losa de concreto y en general de cualquier estructura se puede listar entre otros el diseño de la losa de concreto, la agresividad del medio ambiente, los materiales empleados para su ejecución, las practicas constructivas, la funcionalidad de la losa y su mantenimiento. La vida útil de servicio de la estructura es decir el periodo de tiempo que se inicia desde su ejecución hasta completar un determinado nivel aceptable de deterioro, va a depender directamente de los factores anteriormente descritos. La adición de mayor porcentaje de partículas finas no arcillosas (microfinos) es un factor directo que requiere de estudios y análisis detallados a largo plazo para determinar su impacto.

La estructura y microestructura del concreto es fundamental para resistir los embates del intemperismo y demás factores que afectan la losa de rodadura, sus componentes tales como el cemento, agregado fino, agregado grueso, aire, aditivos y algunas veces adiciones deben guardar una proporción optima de tal manera que sus propiedades como la compacidad, porosidad, absorción y permeabilidad que permitan lograr en la estructura de concreto una barrera difícil de vulnerar. Todas las propiedades anteriormente enunciadas varían algunas en forma favorable otras no tanto al adicionarle microfinos al concreto hidráulico.

Cuando la estructura de concreto es altamente vulnerable ante mecanismos de deterioro, el CO₂ presente en la atmosfera penetra por difusión al concreto, reduciendo significativamente su pH de 13 a 9, perdiendo de este modo la capa pasivadora, avanzando lenta y progresivamente hasta dentro de la superficie del concreto, alcanzando el acero de las barras de transferencia de carga causando su corrosión; lo anterior es un fenómeno mundial conocido como carbonatación del concreto; igualmente puede ocurrir por acción de sulfatos, cloruros y otros agentes químicos. Las buenas prácticas constructivas al momento de adicionar microfinos se pueden validar mediante el buen desempeño de la mezcla de Concreto hidráulico realizando pruebas a los materiales y pruebas a los elementos ya fundidos.

Según Lopez [7], la utilización de agregados pétreos reciclados dará lugar a mezclas de Concreto hidráulico que presentarán una mayor porosidad y permeabilidad, facilitando el transporte de sustancias agresivas a través de la red de poros lo cual sumado a que el mortero adherido puede acelerar la carbonatación y potencializar la reacción álcali – agregado.

2.4 CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

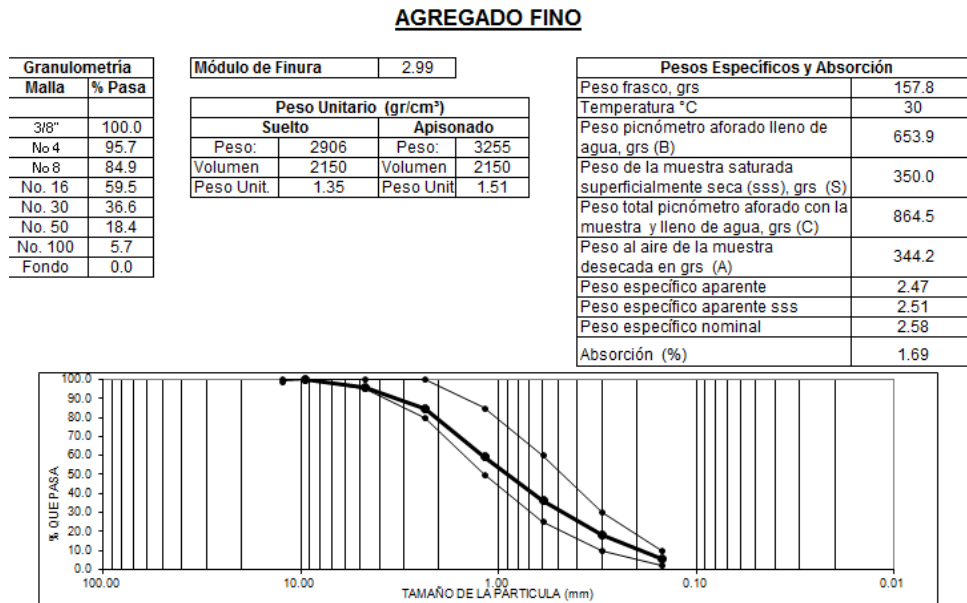
Actualmente los diseños de las mezclas del concreto hidráulico están controlados no solo por las características particulares de los materiales que los componen sino por el desempeño integral que brinda el elemento o capa de rodadura resultante frente a la acción de cargas de servicio e intemperismo. De la misma forma los controles no deben limitarse a los resultados individuales de los materiales básicos que lo componen sino a la resistencia y desempeño de la mezcla como tal.

Las especificaciones técnicas de construcción de entidades como el Instituto Nacional de Vías en su versión 2013 [9] establecen que la responsabilidad de la calidad de la obra recae única y exclusivamente sobre el constructor; estos controles deben iniciar desde la selección de las fuentes de materiales y es aquí donde una adecuada caracterización de agregados viabiliza el uso de los microfinos dentro del proyecto.

Dentro de los criterios que deben chequearse se encuentran las propiedades del origen de los agregados realizando ensayos de laboratorio de Composición mineralógica, dureza, durabilidad, adherencia, reactividad, contenidos de sales solubles y de materia orgánica, entre otros. Igualmente deben chequearse propiedades de fabricación con ensayos de Limpieza, Granulometría, Grado de trituración y Forma de los agregados.

A continuación se presentan a modo de ilustración, algunas curvas granulométricas típicas de distintos agregados finos producto de trituración que se dan en la región de Valledupar (Cesar), realizando un breve análisis de sus propiedades básicas;

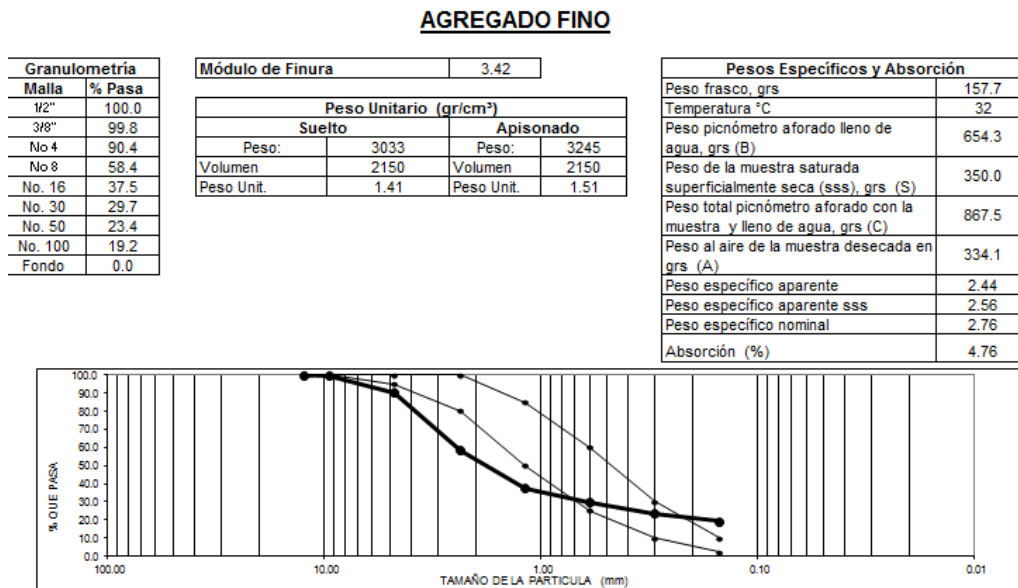
Figura No. 1



Gráfica 1 – Cantera itálica, agregado fino proceso de trituración.
Fuente – Informe de ensayos de caracterización Cantera itálica

De la gráfica anterior se puede inferir un cumplimiento total del agregado fino en cuanto a su granulometría y su módulo de finura. Este agregado no contiene microfinos por lo cual presenta un porcentaje de absorción típico para estos materiales.

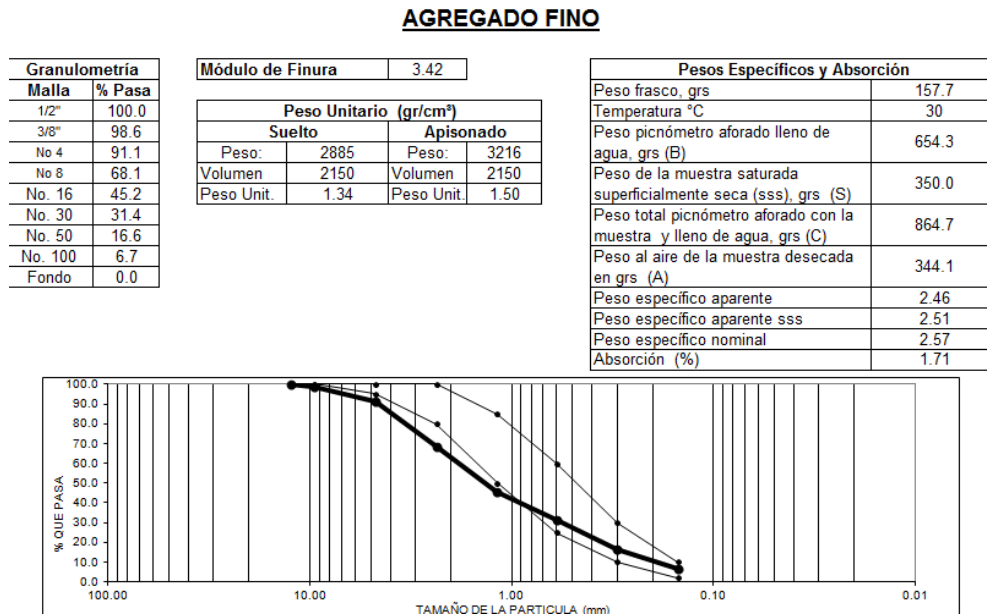
Figura No. 2



Gráfica 2 – Cantera La Guajira, agregado fino proceso de trituración.
Fuente – Informe de ensayos de caracterización Cantera La Guajira

La muestra de la cantera La Guajira presenta un comportamiento típico de un material con alto contenido de microfinos (19%). Generalmente la curva se sale por la parte inferior de la banda granulométrica de la norma; lo anterior indica su gradación gruesa que es confirmada con un módulo de finura alto. El porcentaje de absorción está un poco más elevado debido a la acción del microfino. Todo lo anterior obliga a mezclar el material con una arena natural para ajustar a los requerimientos de norma, limitando la arena de trituración al 30%

Grafica No. 3– Cantera Dorados.



Gráfica 3 – Cantera Dorados, agregado fino proceso de trituración.
Fuente – Informe de ensayos de caracterización Cantera Dorados

De la grafica No. 3 se puede extraer que algunos agregados finos a pesar de cumplir el porcentaje de finos no siempre se ajustan a las bandas granulométricas ni a los módulos de finura exigidos en las especificaciones técnicas de construcción.

2.5 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS SOBANTES (MICROFINOS Y DEMOLICIÓN)

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales en Colombia (ANLA) es el ente encargado de velar por el cumplimiento de las normas en beneficio y protección del medio ambiente en que se desarrolla o se llevará a cabo un proyecto de infraestructura el cual debe involucrar estudios de impactos, diagnósticos de alternativas, licencias, controles, seguimientos, entre otros.

Se está en un proceso de crecimiento, de innovación, de aumento de población e inmigración, tal como el caso de la ciudad de Valledupar, en la zona norte de Colombia, donde se ha generado una alta expectativa de construcción; allí el manejo de los escombros sobrantes de la demolición de obras civiles se vuelve un aspecto a

considerar ya que una mala disposición y/o manejo inadecuado puede generar impactos paisajísticos que generan variación morfológica del terreno y riesgos para la salud humana. Si estos materiales no son llevados en forma racional, coordinada y sistemática a un sitio adecuado de disposición final como las escombreras, terminan en las cercanías de los ríos y quebradas provocando la contaminación de las fuentes hídricas y el deterioro de los ecosistemas.

Para ciudades como Valledupar y en general cualquier población en vía de desarrollo el aprovechamiento no solo está en reutilizar materiales sobrantes de construcción sino que se suma la reducción de los volúmenes de transporte de este material, su almacenamiento, ahorros en combustibles, optimización de recursos, etc.

El impacto que causa una política clara, sostenible y sustentable para el reciclaje de los sobrantes es totalmente favorable desde todo punto de vista. Para lo anterior no es necesario todo el trámite para la expedición de licencias ambientales; basta con una buena asesoría especializada la cual seguramente recomendará la consecución de un permiso ambiental de emisiones de la planta recicladora soportado con un adecuado plan de manejo de residuos y algunos permisos menores adicionales los cuales se tramitan ante las autoridades ambientales regionales.

3. CONCLUSIONES

El uso de agregados con excesos de microfinos en las mezclas de Concreto hidráulico es totalmente viable siempre y cuando se logre determinar que no existe presencia de componentes arcillosos en su microestructura. Existen variedad de ensayos de laboratorio que logran identificar y reducir incertidumbres sobre el uso de los microfinos en las estructuras de pavimentos.

Debido a la reducción en resistencia de los concretos con agregados reciclados y a la falta de estudios y casos puntuales en Colombia; la opción de utilizar agregados reciclados para concretos de bajas resistencias (concreto pobre) y/o concretos para andenes sería totalmente viable en proyectos de infraestructura vial.

El Concreto hidráulico fabricado con agregados reciclados tiende a presentar mayor porosidad, absorción y permeabilidad que potencializa que el frente de carbonatación se propague más rápido. En ambientes agresivos podrán producirse más fácilmente ataques por sulfatos o la penetración de cloruros. Lo anterior debe tenerse en cuenta en la planeación de la intervención con estos materiales.

Los concretos reciclados con altos contenidos de microfinos tienen distintos usos dentro de la ingeniería de pavimentos, pueden ser utilizados como bases en pavimentos, agregados para concretos y estabilización de terrenos.

Viabilizar el uso de microfinos en las actividades de pavimentación de vías debe estar integrado con el especialista diseñador del proyecto en sus distintas etapas; este podrá realizar los ajustes que se consideren necesarios para una correcta

aplicación del uso de microfinos y disponer o recomendar controles adicionales según los criterios de diseño tenidos en cuenta,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Quiroga, P. N. (2006). Mezclas de concreto con alto contenido de microfinos. ACI Materials Journal Vol 103, 6.

[2] Aguilar, C. (abril de 2005). Utilización del hormigón reciclado como material de reemplazo de árido grueso para la fabricación de Concreto hidráulicoes. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 20, 12.

[3] Dopico, J. J. (Diciembre 2008). Desarrollo de Concreto hidráulicoes con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23, 8.

[4] Sanders, C. A. (2002) Proyecto demostrativo del uso de la arena manufacturada en el Hormigón. Reporte final de materiales volcánicos para la Empresa.

[5] Letelier V. (Chile - 2013). Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados. Ingeniería y Ciencia - U. Eafit

[6] Soto Izquierdo I. (Brazil - 2012) Uso De Rcds Como Áridos Reciclados Y Su Empleo En Concreto hidráulicoes Estructurales. Revista y tecnología Minerva.

[7] Lopez Gayarre F. (España - 2008) - Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre propiedades física y mecánicas. Tesis Doctoral Universidad de Oviedo.

[8] Sanchez Carlos. 2012. Reciclaje del concreto en el aeropuerto de Atlanta. Conferencia RC 2012 - Cartagena (Col)

[9] Especificaciones técnicas de construcción INVIAS - 2013.