

Evaluación del comportamiento de concretos hidráulicos elaborados con agregados producto del reciclaje de escombros de demolición (RCD), frente a la utilización de agregados naturales.

Diego Javier Cánchala Castro

Harold Miguel Córdoba Fajardo

Maestría en Ingeniería de la Construcción

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad del Cauca

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de magister en ingeniería de la construcción

Director:

Ferney Quiñones Sinisterra

Ingeniero Civil PhD En Geotecnia

2021

Tabla de Contenido

	Pág.
Dedicatoria.....	8
Agradecimientos	9
Resumen.....	10
Abstract	12
Introducción	14
1. Tema de investigación.....	15
1.1. Título de la investigación.....	15
1.2. Modalidad	15
1.3. Campo y tipo de investigación.....	15
1.3.1. Alcance y delimitación.....	15
2. Problema objeto de estudio	16
2.1. Planteamiento del problema.....	16
2.2. Formulación del problema.....	17
3. Objetivos	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos	18
4. Justificación.....	18
4.1. Justificación técnica.....	18
4.2. Justificación académica	19
5. Metodología	20
6. Marco Teórico.....	21
6.1. Residuos producto de construcción y demolición de obras civiles	21
6.2. El aprovechamiento dentro de las actividades de la gestión integral de RCD	22
6.3. Reseñas de la reutilización de residuos de construcción y demolición	22
6.4. Generación de residuos de construcción y demolición en obra.....	24
6.5. El concreto de demolición como agregado para la elaboración de otros productos	25
6.6. Propiedades físico - mecánicas de los agregados producto del reciclaje de	25
concretos	25
6.7. Variación del comportamiento del concreto hidráulico con respecto a la cantidad	26
de RCD que lo compone	26
6.8. Variación del comportamiento del concreto hidráulico con respecto a la calidad de	26
RCD que lo compone.....	26
6.9. Herramienta de software para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA 1984	27
7. Desarrollo de la Investigación.....	28
7.1. Obtención de los materiales para elaboración de las mezclas y muestras de	28
concreto.....	28

7.1.1.	Agregado reciclado.	28
7.1.2.	Agregados naturales.	30
7.1.3.	Cemento.	30
7.2.	Caracterización física de los agregados reciclados y naturales	30
7.2.1.	Densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto INV. E-217-13.	30
7.2.2.	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino INV. E-222-13.	31
7.3.	Granulometría de los agregados	32
7.3.1.	Agregado fino convencional (arena). Mediante el método de la norma ...	32
7.3.2.	Agregado grueso convencional (triturado).	33
7.3.3.	Agregado grueso reciclado (agregado RCD).	34
7.4.	Diseño de mezclas para elaboración de concretos con agregados reciclados.	35
7.4.1.	Cálculo de proporciones de agregado por método de ajuste gráfico a las curvas de Fuller y Bolomey.	35
7.4.2.	Diseño de Mezcla de Pruebas.	37
7.5.	Obtención del tamaño de la muestra de especímenes.	39
7.6.	Elaboración de cilindros de concreto para ensayo a compresión y vigas de concreto para ensayo a flexión.	40
7.6.1.	Materiales.	40
7.6.2.	Mezclado.	40
7.6.3.	Medición de consistencia del concreto.	41
7.6.4.	Elaboración de especímenes para ensayo de resistencia a la compresión.	41
7.6.5.	Elaboración de especímenes para ensayo a la flexión.	41
7.6.6.	Curado de Especímenes.	41
7.6.7.	Ensayo de Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto.	41
7.6.8.	Ensayo de Resistencia a Flexión de Vigas de Concreto.	42
8.	Procesamiento de datos y análisis de resultados	42
8.1.	Agregados gruesos naturales vs agregados gruesos reciclados	42
8.2.	Comportamiento de la mezcla de concreto no endurecido	43
8.3.	Evaluación de resistencia a la compresión de concretos endurecidos	44
8.3.1.	Interpretación de tipos de falla de los resultados de ensayo de resistencia a la compresión.	48
8.3.2.	Resistencia a la compresión alcanzada.	48
8.4.	Evaluación de resistencia a la flexión de concretos endurecidos	50
8.4.1.	Resistencia a la flexión alcanzada.	54
8.5.	Evaluación de las resistencias alcanzadas con respecto a las resistencias específicas	56
9.	Análisis económico mediante software BS-PCA 1984 para diseño de pavimentos rígidos	58
9.1.	Diseño de un tramo de pavimento con el software BS-PCA.	58
9.1.1.	Datos de entrada para el PC.	58
9.1.2.	Análisis de datos por el software.	60
9.1.3.	Análisis Económico	62
10.	Análisis del impacto ambiental con respecto a la utilización de RCD.	66

11. Incentivos y políticas públicas para la utilización de RCD.....	70
11.1. Propuesta para aplicación de incentivos para la utilización de RCD.....	71
Conclusiones.....	72
Recomendaciones	75
Bibliografía	77
Anexos	80

Lista de Tablas

Tabla 1. Variación RCD dentro de la proporción de agregado grueso por tipo de mezcla.	35
Tabla 2. Gradaciones de agregados finos y gruesos naturales vs especificaciones.	36
Tabla 3. Gradaciones de la mezcla ajustada a especificaciones de Fuller y Bolomey.	37
Tabla 4. Procedimiento para diseño de mezclas: Mezcla tipo 1. Apoyo tablas Sánchez, (2000).38	
Tabla 5. Variación del agregado grueso en cada tipo de mezcla.	39
Tabla 6. Relación asentamiento de concreto no endurecido con respecto al contenido de RCD.43	
Tabla 7. Relación de resultados de ensayo a la compresión de cilindros de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba.	45
Tabla 8. Relación de resultados de ensayo a la compresión de cilindros de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba. (Continuación).	46
Tabla 9. Resistencia a la compresión promedio F'_{cr} por cada mezcla, obtenidas a las edades del ensayo.	48
Tabla 10. Resistencia a la compresión específica por mezcla obtenidas a las edades de ensayo.49	
Tabla 11. Relación de resultados de ensayo a la flexión de vigas de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba.....	51
Tabla 12. Relación de resultados de ensayo a la flexión de vigas de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba (Continuación).	52
Tabla 13. Desarrollo de resistencia a flexión para cada mezcla según la cantidad de RCD.....	54
Tabla 14. Resultados de cálculo de espesores de losa de pavimento rígido y consumos de esfuerzo y erosión mediante software BS-PCA.	60
Tabla 15. Análisis de precios unitarios para la producción de m ³ de agregado reciclado.	63
Tabla 16. Precios unitarios de materiales para producción de mezclas de concreto.	64
Tabla 17. Precios unitarios de materiales para producción de mezclas de concreto.	64
Tabla 18. Comparación de costos de producción de una mezcla de concreto para m ² de pavimento rígido con variación de espesor de acuerdo con el diseño por BS-PCA para cada mezcla.	65
Tabla 19. Consumo de energía y emisiones de CO ₂ de materiales de construcción.	67
Tabla 20. Consumo de energía y emisiones de CO ₂ de RCD.	67
Tabla 21. Cálculos de consumo de energía y emisiones de CO ₂ para las mezclas tipo por m ² . .	68

Lista de Figuras

Figura 1. Localización construcción en proceso de demolición.....	29
Figura 2. Sitio del pavimento en demolición y disposición de RCD.....	29
Figura 3. Variación de masas unitarias entre tipos de agregados.....	31
Figura 4. Variación de peso específico y absorción entre tipos de agregados.....	31
Figura 5. Curva granulométrica de la Arena.....	32
Figura 6. Curva granulométrica del triturado.	33
Figura 7. Curva granulométrica del agregado RCD.	34
Figura 8. Ajuste gráfico a curvas de Fuller y Bolomey.	36
Figura 9. Gradación de la mezcla bajo las especificaciones según Fuller y Bollomey.	37
Figura 10. Relación asentamiento vs contenido de RCD en cada tipo de mezcla.	43
Figura 11. Edad vs resistencia a la compresión de concretos elaborados a partir de RCD.	49
Figura 12. Gráfica edad vs resistencia a la flexión de concretos elaborados a partir de RCD. ...	55
Figura 13. Comparación entre resultados de compresión de las mezclas elaboradas con RCD..	57
Figura 14. Comparación entre resultados de flexión de las mezclas elaboradas con RCD.....	57
Figura 15. Comparación entre resultados de espesores y consumo por erosión por tipo de mezcla al 80% de consumo por esfuerzo.	62
Figura 16. Cálculo de consumo energético por m ² de losa de pavimento por mezcla tipo.	69
Figura 17. Cálculo de emisión de CO ₂ por m ² de losa de pavimento por mezcla tipo.....	69

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Ensayos de laboratorio.....	81
Anexo 2. Registro fotográfico.....	88
Anexo 3. Caracterización de Materiales.....	97
Anexo 4. Análisis Estadístico – ANOVA.....	121
Anexo 5. Estudio de Suelos Municipio de Sandoná.....	134
Anexo 6. Estudio de Transito Pavimento Municipio de Sandoná	171
Anexo 7. Precio Materiales APUS Nariño 2020-1 INVIAS.....	205
Anexo 8. Análisis económico ejemplo real	215

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado principalmente a nuestros padres y familiares, quien con su apoyo incondicional y esfuerzo nos permitieron estudiar Ingeniería Civil, el primer paso para que en este momento podamos optar por el título de Magister en la Universidad del Cauca. Sus consejos siempre han sido de vital importancia en todas las etapas de nuestras vidas y los valores que nos han inculcado finalmente convergen en este título tan anhelado. Esperamos que sea de gran orgullo para ellos, quienes aportaron sus consejos y motivaciones, para alcanzar este logro.

Finalmente dedicamos mención especial a la Universidad del Cauca y todos sus profesionales quienes nos han formado y han dedicado su tiempo para transmitir estos conocimientos, base fundamental para que nosotros podamos aportar mediante este trabajo a mejorar nuestra sociedad.

Agradecimientos

En primer lugar, queremos agradecer a *Dios Todopoderoso*, quien nos ha iluminado en el camino y nos ha brindado la sabiduría y la oportunidad de tener nuestras facultades físicas y mentales para poder culminar la Maestría en Ingeniería de la Construcción en la Universidad del Cauca.

Resaltamos la labor de los profesores y del área administrativa de la Universidad del Cauca, quien con su apoyo hacen que este sueño llegue a un buen fin. En especial queremos agradecer a los *Ingenieros Ferney Quiñonez y Fredy Jaramillo*, quienes han dedicado su tiempo y han aportado sus conocimientos y experiencia en este campo de estudio, para lograr que esta meta tan importante para nosotros se haga realidad.

Siempre seremos agradecidos con los que nos formaron y nos dieron esos valores de estudio y persistencia: *nuestras familias*, quienes siempre tuvieron una voz de aliento y una entera confianza para que algún día alcancemos el lugar que soñamos.

La maestría no solo es otro escalón cumplido, es saber que el mundo del conocimiento es vasto e infinito, lo que permite ampliar nuestras mentes y nos obliga a transformar la realidad actual en cada uno de nuestros territorios con el fin de contribuir con el desarrollo de nuestras comunidades.

Nos queda el reto de emprender nuevos proyectos académicos y principalmente investigativos que le apunten a la transformación social.

Resumen

Mediante la presente investigación se pretende confrontar las características físicas y mecánicas de los residuos producto de la construcción y demolición de estructuras en concreto hidráulico simple con las de los agregados naturales convencionales, y su utilización en la fabricación de concretos similares; de esta manera poder establecer la factibilidad técnica y económica de su reutilización en la elaboración de nuevos productos.

El problema por resolver parte del incremento de escombros producto de actividades de construcción, remodelación o demolición de obras civiles generado en los últimos tiempos. En Colombia como en otros países de Latinoamérica existen políticas nacionales enmarcadas a la gestión de residuos sólidos y específicamente de residuos de construcción y demolición (RCD), (Política Nacional Para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, CONPES 3864; Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), sin embargo, aunque estos estándares son extendidos para los municipios y en particular a los proyectos de construcción públicos y privados que se desarrollan, no existen lineamientos públicos que promuevan la reutilización de los RCD para una producción de bienes y servicios con criterio de sostenibilidad; es decir que aunque existan diversos estudios de aprovechamiento mediante la utilización sostenible de residuos de construcción y demolición, como lo menciona el Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016, los sectores económicos no aplican completamente el análisis del ciclo de vida de los RCD, debido a que no existen incentivos económicos por parte del estado para llevar a cabo estos procesos de reutilización.

La presente investigación se realiza con el fin de que en la región nariñense se conozca la posibilidad de generar un producto como el concreto a partir de la utilización de agregados resultado del reciclaje de concretos que ya tuvieron una vida útil y se han sometido a un proceso de demolición. Por consiguiente, se pretende generar conocimiento sobre el comportamiento físico-mecánico que tiene los residuos producto de demolición, como materia prima aprovechable para generar nuevos productos para una contribución futura en la disminución del impacto ambiental por la contaminación.

La investigación se formuló en las siguientes etapas: se inició con un proceso de recuperación de los residuos de concreto hidráulico de la demolición de una losa de pavimento de concreto simple; a continuación, se realizó su caracterización mecánica mediante ensayos de laboratorio del material previamente seleccionado y triturado. Una vez se llevó a cabo la caracterización de las muestras se elaboró los diseños de mezclas para la fabricación de concreto con agregado RCD al 25, 50, 75 y 100% en la porción del agregado grueso, bajo las especificaciones técnicas que se establecen en Colombia (Tipo INVIAS). De esta manera se elaboraron especímenes de concreto para ser sometidos a ensayos de resistencia a compresión y a flexión para poder determinar las propiedades alcanzadas y comparar los resultados de las diferentes mezclas de concreto entre ellas, y con la mezcla convencional.

Con los resultados obtenidos de resistencia a la flexión (módulo de rotura) y basados en los datos de tránsito y propiedades del suelo de un proyecto real de pavimentación con concreto rígido, se procede a realizar el diseño del espesor de losas, mediante el software PCA de la Universidad del Cauca, variando los módulos de rotura (M_r) obtenidos, generando resultados de consumo de erosión y fatiga en cada caso, lo cual será de utilidad para llevar a cabo un análisis económico y ambiental.

Finalmente, el estudio enmarca la posibilidad de la reutilización de RCD como porción del agregado grueso, con resultados satisfactorios hasta con un 75% de agregado RCD, manteniendo siempre un control estricto de los procedimientos para obtener las mezclas de concreto, sumado a esto si se implementan políticas públicas que estimulen la reutilización de RCD en nuevos procesos constructivos, se lograría una mejor sostenibilidad entre la actividad de la construcción y el medio ambiente.

Palabras Clave: Concretos hidráulicos, reciclaje, escombros, gestión, agregados, RCD.

Abstract

The purpose of this investigation is to compare the physical and mechanical conditions of demolition waste and simple hydraulic concrete-structure grind with conventional natural aggregates, and their use in producing simple concrete, so that it can be established the economic feasibility of their reuse in the production of new goods.

The issue intended to be solved is developed keeping in mind the outstanding increase in demolition waste as result of building activities, house make-overs, or demolition of civil buildings in the last years. In Colombia, just as in other Latino countries, there are state policies framed by the solid waste management, and specifically, of demolition and building waste (RCD), (National Policy for Integral Solid Waste Management, CONPES 3864; Resolution 0472, February 28, 2017, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible); Nonetheless, these patterns are aimed for municipalities, and in particular, to public and private building projects, and there are not public norms that promotes the reuse of RCD in order to produce goods and services with a sustainable focus. This means that although there are different studies in profiting through the sustainable reuse of building and demolition waste, as stated by Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016, the economic sectors do not fully enforce the life cycle of the RCD due to non existent economic stimulus given by the state so that they can take over the reuse processes.

This investigation is developed in order that the Nariñense Region can get acquainted with the possibility of generating a product like concrete based on the use of aggregates as result of recycling concretes that had already had a serviceable life and has gone through a demolition process. Therefore, it is expected to rise awareness about the physical-mechanical behavior of the demolition waste as profitable raw material to create new products aimed at a future contribution to decrease the environmental impact because of the pollution.

This investigation was accomplished through the following steps: it started with a retrieval of hydraulic concrete demolition waste of concrete surface bed. Next, a mechanical characterization was made thanks to lab tests of the material previously selected and pulverized. After this characterization, designs of mixture were made to produce concrete with added RCD

25,50,75 and 100% in the thick added portion, under the technical specifications established in Colombia (INVIAS type). Finally, concrete specimens are crafted to be put under compression and flexion essays and so to determine the properties reached and compare them with the different concrete mixtures among them and with conventional ones.

With the obtained results on flexural strength (modulus of rupture) and based on the traffic data and ground properties of a real rigid concrete paving project, we proceed to make the designs of the slab thickness, through the PCA software of the University of Cauca, varying the rupture modules (M_r) obtained, generating results of erosion and fatigue consumption in each case, which will be useful carry out an economic and environmental analysis.

Finally, the study frames the possibility of reusing RCD as a portion of the thick aggregate, with satisfactory results with up to 75% RCD of aggregate, always keeping a strict control of the procedures to obtain concrete mixtures, in addition to this, public policies are implemented to encourage the reuse of RCD in new construction processes, which would get a better sustainability between the construction activity and the environment.

Key Words: Hydraulic concretes, recycling, rubble, management, aggregates, RCD.

Introducción

La construcción de obras de infraestructura en los últimos años ha tenido un incremento importante en Colombia, es una de las principales actividades motores de la economía nacional, sin embargo, es una de las mayores generadoras de residuos sólidos y como lo mencionan Vásquez, Botero y Carvajal (2014, p. 198), es uno de los grandes responsables del consumo de recursos, fuente de generación de contaminantes y transformación del medio ambiente.

Hoy en día la conciencia ambiental, la protección de recursos y entre otros el desarrollo sostenible juega un papel importante en los requisitos enmarcados en las políticas de gestión integral de residuos sólidos, no solo en Colombia sino en los demás países de Latinoamérica. Por tal motivo, es pertinente que desde esta industria de la construcción se planteen soluciones alternativas que contribuyan a disminuir el impacto generado por la contaminación.

En este proyecto se pretende obtener las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del reciclado de concreto hidráulico, producto de la demolición de construcciones, para ser comparadas con las características de los agregados que se denominaran de origen natural debido a que son de primer uso en la fabricación de concretos. De este balance se podrá establecer puntos de partida técnicos, económicos y ambientales de la utilización de los RCD en la producción de nuevos concretos.

Inicialmente se caracterizaron los materiales utilizados en la investigación, posteriormente se realizaron ensayos en condiciones de laboratorio para determinar las características de los agregados de origen natural y de reciclado. Con las propiedades resultantes se generó el diseño de mezcla para elaborar un concreto de 3000 PSI o 21 MPA con agregados convencionales, la proporción de agregado grueso fue modificado con cantidades de agregado reciclado para realizar los especímenes y posteriormente ser ensayados en pruebas de compresión y flexión del concreto. Con los resultados de laboratorio y el procesamiento de datos se dio paso al análisis de resultados y conclusiones.

1. Tema de investigación

1.1. Título de la investigación

Evaluación del comportamiento de concretos hidráulicos elaborados con agregados RCD, frente a la utilización de agregados naturales.

1.2. Modalidad

El programa de maestría en construcción de la universidad del Cauca es de modalidad profundización.

1.3. Campo y tipo de investigación

El presente proyecto se enmarca en el campo de investigación experimental, se fundamenta en la caracterización de agregados reciclados de concretos productos de demolición y su utilización en la fabricación de nuevos concretos. Los procesos de caracterización de agregados, fabricación de concretos y ensayos de falla fueron controlados en condiciones de laboratorio para poder observar el grado en que la utilización de los agregados reciclados y sus características producen ciertos efectos.

El tamaño de la muestra del material seleccionado para la presente investigación se determinó a partir de las pautas indicadas por las especificaciones para ensayos de Invias INVE-201 de tal forma que se tome la cantidad necesaria y suficiente para que los resultados de los ensayos con dicho material sean confiables.

1.3.1. Alcance y delimitación. Se pretende obtener las propiedades físicas y mecánicas de los agregados producto del reciclaje de la demolición de concreto hidráulico de pavimentos de concreto simple, utilizando proporciones de este material como parte del total del agregado grueso dentro de mezcla y el resto se compensará con agregado natural.

Lo anterior, con el objetivo de poder compararlas con las especificaciones de un concreto convencional y con ello determinar la factibilidad técnica y económica de este proceso. Así entonces, el alcance es netamente experimental con el fin de reforzar las conclusiones obtenidas en estudios anteriores y resultados propios de este estudio.

2. Problema objeto de estudio

2.1. Planteamiento del problema

La creciente economía en las ciudades del mundo ha llevado a que sectores como la construcción se encuentren en un auge elevado, sin embargo, producto de estas actividades para la generación de nuevas infraestructuras conllevan a la consecuente producción de volúmenes importantes de residuos de construcción y demolición RCD, que por su disposición final ya sea controlada o de manera clandestina afectan notablemente el medio ambiente.

Los proyectos de infraestructura que en general se vienen desarrollando en la ciudad de Pasto, generan un volumen importante de residuos de construcción y demolición que corresponden a los materiales provenientes de las estructuras de pavimentos, edificios y otros que ya han cumplido un periodo de vida útil y que debido a las patologías que presentan deben ser demolidas o en otro caso reparadas. Según el Plan de Gestión Integral de residuos sólidos “A partir del año 2012 hasta 2013 debido al desarrollo de las obras de infraestructura tales como: vías, servicios públicos y otros, la producción incrementó un 450% que equivale a 225.000 m³/año, los escombros son recolectados, transportados y dispuestos” (Alcaldía de Pasto, 2015, p. 242); de dichos residuos de los pertenecientes a construcciones nuevas el 51.2% corresponden al agregado grueso de la estructura, es decir concreto hidráulico.

La búsqueda de soluciones integrales para mitigar la problemática ambiental que genera la creciente producción de RCD ha llevado a que se propongan estudios e investigaciones basadas entre otras, al enfoque de la reutilización de residuos, es decir en el caso particular a utilizar los residuos de construcción como materia prima para nuevos procesos de construcción; sin embargo, aunque en Colombia existe un direccionamiento legislativo enmarcado en la Política Nacional para

la Gestión Integral de Residuos Sólidos que establece parámetros mínimos para el adecuado manejo y gestión de los residuos sólidos y RCD, estas políticas no se han fortalecido totalmente en los procesos de aprovechamiento ya que como lo menciona el mismo documento de la normativa entre un 20% a 30% de los RCD fueron aprovechados con una pérdida significativa de materiales que pudieron ser reincorporados al ciclo productivo.

En la búsqueda de fortalecer los procesos de reutilización de RCD y aportar más conocimiento acerca de los residuos como materia prima para otros procesos de construcción se hace urgente conocer y comprender el comportamiento físico-mecánico que poseen, es decir aportar a los lineamientos o pautas técnicas para la reutilización sostenible de escombros de construcción, que generen nuevos productos de construcción y que garanticen calidad, seguridad y durabilidad.

La solución a este problema tendrá como consecuencia valiosas contribuciones en el reciclaje de materiales en la región, mejorando el medio ambiente y ayudando a crear una cultura en los constructores hacia el aprovechamiento en proyectos con una visión más amigable con el medio.

2.2. Formulación del problema

¿Cuál es la factibilidad técnica, económica y ambiental de los concretos hidráulicos elaborados a partir de agregados RCD, frente a los concretos hidráulicos en los que se utiliza agregados convencionales?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar de forma comparativa las propiedades físicas y mecánicas de mezclas de concreto hidráulico elaboradas con agregados producto del reciclaje de escombros de demolición frente a la utilización de agregados naturales.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar diseño de mezclas de concreto hidráulico utilizando agregados naturales.
- Diseñar y elaborar mezclas de concreto hidráulico incorporando agregados producto del reciclaje de escombros de demolición utilizando en su composición, adiciones del 100%, 75%, 50% y 25% de RCD
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de concreto hidráulico elaboradas con agregados reciclados de escombros de demolición frente a las elaboradas con agregado naturales.
- Analizar técnica y económicamente la factibilidad de la reutilización de los escombros provenientes de concretos en demolición en nuevos concretos para pavimentos rígidos.

4. Justificación

4.1. Justificación técnica

Los estudios enfocados en el análisis del potencial de la reutilización de residuos de construcción y demolición RCD como materia prima en la elaboración de nuevos productos y actividades de la industria se han fortalecido con la tendencia mundial encaminada hacia el desarrollo y construcción sostenible; es por eso, que la evaluación del comportamiento de concretos hidráulicos elaborados con agregados producto del reciclaje de escombros de demolición es importante, ya que los resultados permitirán fortalecer lineamientos técnicos que brinden una orientación sobre la reutilización de este tipo de materiales evaluando las ventajas de utilizar un agregado producto del reciclaje frente a un agregado convencional.

Mediante el presente estudio también es posible determinar particularmente las características y propiedades del concreto hidráulico a partir de agregados reciclados: la resistencia a compresión, resistencia a la flexión y su consistencia en estado fresco; de igual manera, se conocerá las características físicas de los agregados objeto de estudio: granulometría, densidades y absorción. Los procedimientos y resultados de esta investigación proyectaran una visión de la viabilidad económica, técnica y ambiental de poner en práctica este tipo de aprovechamiento de

recursos de segunda mano de tal manera que los procesos de la construcción sean menos impactantes, más amigables con el entorno y den cumplimiento a la normatividad vigente en Colombia.

Además, se debe mencionar que, en el departamento de Nariño y situacionalmente en la ciudad de Pasto, son mínimos los estudios realizados acerca de la utilización de residuos producto de la demolición de construcciones. En este sentido, el estudio permitirá reforzar los estudios existentes, aumentar resultados concluyentes y servir de referente para posteriores investigaciones tanto para el departamento de Nariño como para Colombia.

4.2. Justificación académica

La Universidad del Cauca goza de un alto prestigio a nivel regional y nacional, por las investigaciones adelantadas en pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería. Dadas las diferentes líneas de investigación relacionadas a la construcción, muchos de los resultados han sido considerados estudios modelo y han sido implementados en múltiples proyectos desarrollados en el sector, en todo el país.

Con la investigación propuesta se pretende seguir una línea de investigación, que si bien ya ha sido desarrollada en términos generales (Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD), no se ha indagado a fondo de manera particular, por tanto, la importancia reside en dar lugar a nuevas investigaciones y propuestas como contribución desde la academia hacia el sector de la construcción, principalmente en el ámbito regional y local.

La ingeniería civil tiene la obligación y responsabilidad moral de enfocar todos los conocimientos técnicos, hacia el mejoramiento y preservación del medio ambiente; por lo tanto la reutilización del concreto que se genera en los procesos de demolición, es un tema de investigación primordial para disminuir en lo posible el impacto de los procesos de construcción en el medio ambiente; por otro lado, como valor agregado se pretende generar estrategias para reducir costos y generar ingresos a las empresas constructoras, si se tienen en cuenta las recomendaciones y los procedimientos básicos en la reutilización del concreto hidráulico.

5. Metodología

Para el presente trabajo se utilizó agregado reciclado procedente de la demolición de pavimentos rígidos o de concreto hidráulico separado de la presencia de acero de refuerzo, específicamente se utilizó los residuos de un pavimento en demolición, localizado en la calle 18b con carrera 42 esquina, en la ciudad de Pasto.

Una vez el material reciclado fue triturado mediante métodos mecánicos, se seleccionó material para las muestras de tamaños máximo de una pulgada, desechando el material fino, tipo polvo por medio de una trituradora de mandíbulas y la selección del material fue manual, trabajos realizados en la planta de materiales del señor Oscar Pabón de la ciudad de Pasto.

Además, para la elaboración de las mezclas, también se utilizó agregados naturales de tipo grueso y fino, provenientes de la cantera Oscar Pabón, ubicada en la ciudad de Pasto, teniendo en cuenta que esta fuente natural cumple con los requerimientos técnicos, ambientales y legales vigentes. El tamaño máximo del agregado grueso fue de una pulgada y el agregado fino presentó un 14.86 % de pasante del tamiz N° 200. De igual forma, se usó cemento tipo Portland con una densidad de 2.996 g/cm^3 y un módulo de finura Blaine de 3998.

La caracterización de los materiales se realizó mediante análisis de granulometrías, obtención de peso específico, absorción y medición de masas unitarias. Los ensayos para determinar esta caracterización se hicieron bajo los lineamientos de las normas para ensayos tipo INVIAS en su actualización del año 2012 y los parámetros de cumplimiento se evaluaron bajo los lineamientos de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto Nacional del año 2012.

Para la adecuada caracterización mecánica de los concretos elaborados a partir de agregados reciclados se decidió variar las proporciones de este material dentro de la mezcla y el resto de agregado grueso se compensa con agregado grueso natural. Las proporciones utilizadas en las diferentes mezclas y sus diseños son: 25%, 50%, 75% y 100% del total del agregado grueso.

De las mezclas de concreto elaboradas a partir del agregado reciclado se realizaron especímenes para determinar la resistencia a la compresión y a la flexión mediante ensayos de laboratorio al concreto endurecido y como evaluación del concreto fresco el ensayo de asentamiento, siguiendo los lineamientos tipo INVIAS.

Los parámetros de cumplimiento de las características mecánicas se establecieron así: como resistencia de diseño a la compresión ($F'c$) un esfuerzo de 210 kg/cm^2 , como carga última a la compresión ($F'cr$) un esfuerzo de 245 kg/cm^2 y para la flexión se estableció un módulo de rotura mínimo igual a 37.46 kg/cm^2 ($2.585 * F'c^{0.5}$) para una vía de tráfico bajo tipo NT1.

Mediante una evaluación general de los resultados de la caracterización de mezclas de concreto con RCD, se determinó de la factibilidad técnica y económica de producir concretos a partir de estos agregados, con el fin ser usados nuevamente en la construcción de pavimentos.

6. Marco Teórico

6.1. Residuos producto de construcción y demolición de obras civiles

Los residuos producto de la construcción y demolición de obras civiles conocidos como RCD o escombros, generados en las diferentes etapas de los procesos constructivos y que por lo general se categorizan como desechos. Según la Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017 “Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, p. 3) estos residuos se pueden clasificar según su potencial de reutilización como RDC susceptibles de aprovechamiento y RDC no susceptibles de aprovechamiento.

La construcción es una de las actividades con mayor dinamismo dentro de la economía nacional, pero así mismo como derivado de esta actividad se han generado grandes volúmenes de RCD; en el año 2011 en las principales ciudades de Colombia se generaron 22.270.338 toneladas de RCD lo que llevo al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo a reglamentar la gestión

integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición, con el ánimo de fortalecer los procesos de protección, prevención, y control de los recursos naturales para conservarlos y generar un desarrollo sostenible.

6.2. El aprovechamiento dentro de las actividades de la gestión integral de RCD

Los procesos y actividades de la gestión integral de RCD se han jerarquizado dependiendo de la prioridad que estas representen en el fortalecimiento de la protección de la integridad del medio ambiente; es así como en la normatividad vigente para Colombia se prioriza los procesos de prevención o reducción, en segunda instancia los procesos de aprovechamiento y finalmente la disposición de los RCD (MADS, 2017, p. 4).

Enmarcando la presente investigación, dentro de los procesos de aprovechamiento de los RCD, se encuentra como antecedente que existen aún problemas en la adaptación y motivación por parte de las políticas públicas para lograr aumentar las tasas de aprovechamiento y tratamiento de los residuos producto de construcción.

Diferentes sectores de la sociedad, incluyendo la academia, han desarrollado numerosas propuestas tecnológicas de aprovechamiento que aprueban la reutilización sostenible de los RCD en nuevos materiales de construcción con excelentes resultados. No obstante, la mayoría de estos esfuerzos resultan infructuosos y no trascienden debido principalmente a que en Colombia no existen normas técnicas que especifiquen, regulen y avalen la reutilización de los RCD en diferentes sectores de la industria de la construcción (Robayo et al., 2014).

6.3. Reseñas de la reutilización de residuos de construcción y demolición

El reciclaje o la reutilización de residuos de construcción es una práctica que se realiza desde tiempos antiguos. Los primeros indicios datan de la época del Imperio Romano quienes utilizaban los escombros de la construcción y piedras de los antiguos caminos para conformar nuevas construcciones (Morales, 2013, p. 63). Más tarde finalizada la Segunda Guerra Mundial las principales ciudades como Alemania y Gran Bretaña quedaron destruidas y con gran cantidad

de material de escombros que generaron problemas en su disposición, estas dificultades dieron paso a reciclar los escombros para reconstruir parte de la infraestructura de las ciudades.

Las experiencias obtenidas en las ciudades europeas llevo a que se iniciaran más investigaciones sobre las propiedades de agregados producto de la reutilización de concretos. De acuerdo con las recopilaciones de Cruz y Velásquez (2004), en 1946 Guzle, en la unión Soviética en su investigación determinó que los agregados producto de los residuos de concreto de construcción tenían pesos específicos menores a los agregados naturales, lo que generaba a los concretos hidráulicos elaborados con los primeros baja resistencia a la compresión y alta resistencia a la flexión; además, que si se utilizaban cantidades altas de agregado fino se requería mayor cantidad de cemento. Hacia los años 50 en muchas ciudades del mundo se inició un incremento de la industria y el comercio, pero así mismo la conciencia de la protección del entorno y el ambiente también se incrementó y se continuaron realizando investigaciones con el fin de determinar las ventajas de la reutilización de materiales de reciclaje de escombros de construcción.

Hacia el año 2006 el Ministerio de Fomento de Madrid (CEDEX) junto a MD Domingo y Lázaro Ingenieros, S.L de Valencia y Salvador Monlen Catedrático de Puentes de la Universidad Politécnica de Valencia proponen un proyecto denominado “Puente Reciclado Sobre El Rio Turia en Manises” el cual fue puesto en desarrollo y se inauguró hacia el año 2009. El fundamento de esta construcción fue reciclar el concreto de la demolición de las pilas y vigas del antiguo puente ubicado la carretera CV-371 (VV-6117) y bajo un estricto control de calidad se logró elaborar con el material de reciclaje concretos para el nuevo puente alcanzando las resistencias requeridas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto.

En México, Montiel, estudia los agregados reciclados y su uso en la fabricación de adoquines para pavimentos de tránsito peatonal, indicando una vez más como han concluido otros estudios que los RCD tiene una absorción mayor a los agregados convencionales lo que influye directamente en la dosificación de las mezclas, pero que con una cantidad suficiente de agregado fino es factible la fabricación de unidades para pavimento de transito bajo (2017, p. 85).

Mediante el estudio de Ospina, Moreno y Rodríguez “Análisis Técnico-Económico del Uso de Concreto Reciclado y el Concreto Convencional en Colombia” refuerzan las conclusiones de estudios anteriores, los agregados de concreto reciclado presenta valores de desgaste, coeficiente de forma y densidad menores a los que presenta el agregado natural, y en cuanto a sus propiedades mecánicas presentan deficiencias al compararlas con las de los agregados convencionales, esto hace que la resistencia a la tensión y flexión de los especímenes elaborados con el 100% de agregado reciclado sean inferiores con respecto a los especímenes elaborados con agregado natural (2017, p. 17). En cuanto al aspecto económico, indica que lograr resistencias adecuadas implica el incremento de cantidades de cemento y por consiguiente incremento en los costos de fabricación.

6.4. Generación de residuos de construcción y demolición en obra

Según Marín (2019) en su estudio denominado: “Análisis de la Generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en un Proyecto Institucional” estudió la generación real de residuos de construcción de una obra específica de uso institucional en el departamento de Caquetá, mediante el cálculo de Índices de generación de residuos. Este estudio, aunque es más general debido a que considera dentro de los RCD todos los tipos de residuos de las etapas de construcción desde excavaciones hasta acabados, concluyo que el 6% de los residuos generados durante la construcción de una obra civil corresponden a material susceptible a ser reciclado, aunque como el estudio es de un caso particular esto dependerá del tipo de proyecto.

Por otro lado, Armijos (2019) en su estudio denominado “Caracterización de Residuos de Construcción en Sistemas Industrializados para Viviendas de Interés Social, en la Ciudad de Santiago de Cali” también hace un acercamiento a la generación de residuos producidos en las diferentes etapas de una obra civil, específicamente en muros y placas de concreto. En cuanto a las características físico - mecánicas del material reciclado, Armijos, determino como en otros estudios que la gravedad específica Bulk, gravedad específica saturada superficialmente seca y la gravedad específica aparente son menores a las registradas para los agregados convencionales.

6.5. El concreto de demolición como agregado para la elaboración de otros productos

Los RDC como se ha venido mencionando, dependiendo de sus características van a ser enfocados para ciertas formas de reutilización; en la presente investigación se ha tomado como material de análisis aquellos que se clasifican como aprovechables de acuerdo con la Guía para la elaboración del Plan Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en obra de Bogotá, de la clase de residuos pétreos como lo es el concreto; ya que pueden presentar características satisfactorias para un segundo uso en aplicaciones de la construcción.

Los residuos de concreto a través de la historia y las diferentes investigaciones se han procesado para ser usados de varias formas: mediante trituración se obtienen agregados gruesos reciclados que por sus características físico-mecánicas similares a las de agregados convencionales son utilizadas como parte de mezclas de nuevos concretos o también para hacer parte del cuerpo de base y subbase de los pavimentos; en otro proceso el material se expone a temperaturas mayores a los 300 °C y se obtiene polvo de agregado reciclado para ser utilizado como cemento en nuevas mezclas.

6.6. Propiedades físico - mecánicas de los agregados producto del reciclaje de concretos

La granulometría del árido o agregado producto del reciclaje de concreto demolido, la cantidad, su forma y su tamaño afectarán considerablemente las propiedades del concreto elaborado a partir de este, tanto en estado fresco como en estado endurecido; de igual manera, en la capacidad del mismo para conformar un suelo o para ser utilizado en obras de carreteras. (Martin, 2013, p. 65).

Es importante entonces que al considerar utilizar agregados producto del reciclaje en aplicaciones de ingeniería, los resultados que se obtengan deben cumplir con los requisitos mínimos de acuerdo con la normatividad técnica vigente, que para la región en la que se enmarca el presente estudio son las Especificaciones Generales de Construcción de carreteras y sus ensayos INVIAS y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10.

6.7. Variación del comportamiento del concreto hidráulico con respecto a la cantidad de RCD que lo compone

Blengini y Garbarino (2010) opinan que el árido reciclado y el natural no pueden competir en la industria de la construcción, aunque su utilización conjunta sería estratégica. Otros autores establecen proporciones fijas de la utilización de estos áridos de tal forma que el comportamiento mecánico del concreto resultante no se vea afectado. Vázquez (1996).

Según Li, (2008) las características físico-mecánicas y la durabilidad del concreto hidráulico elaborado con agregados reciclados empeoran a medida que aumente la sustitución de agregado convencional por reciclado. Fonseca, (2011), Katz, (2003) y Hansen, (1986) consideran que el concreto elaborado a partir de agregado reciclado experimenta aumento en la resistencia mecánica debido a que los áridos reciclados presentan mayor rugosidad y superficie específica que generan interconexión adecuada con la pasta de cemento.

Así mismo menciona Martin, (2013) que la normatividad de España establece que el porcentaje de sustitución del árido convencional por árido reciclado en la producción de nuevas mezclas de concreto no debe superar el 20%; inclusive se han estudiado posibilidades para superar este porcentaje hasta el 30%; aumentos superiores significa variaciones en las cantidades de cemento y cambio en el comportamiento estructural.

6.8. Variación del comportamiento del concreto hidráulico con respecto a la calidad de RCD que lo compone

El agregado reciclado es producto del procesamiento de escombros de demolición, en este caso de concreto hidráulico, por lo tanto, el agregado reciclado es un conglomerado constituido por áridos convencionales, mortero adherido, yeso y material cerámico los cuales pueden estar solos o en conjunto. Al estar constituido por otros componentes el árido presenta mayores porcentajes de absorción, incremento en la porosidad, fisuración interna, alto contenido de sulfatos, cloruros y álcalis, alta presencia de impurezas y cemento adherido y deficiencia

granulométrica, lo que lo hace un material no homogéneo y que para su producción debe considerarse un alto grado de control.

En cuanto a la calidad del agregado reciclado se han realizado también estudios, algunos enfocados en las características tanto químicas como físicas y mecánicas, a la durabilidad del árido reciclado; también atribuyendo la mayor o menor calidad al comportamiento de la zona de transición pasta-árido (Tam, 2005) ya que realmente esta zona la conforman dos pastas: la que formaba el antiguo concreto y la que conforma el árido reciclado con la nueva pasta de cemento.

6.9. Herramienta de software para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA 1984

En el análisis económico de la presente tesis y la viabilidad en el uso de RCD en la generación de nuevos concretos para aplicaciones de construcción, se utilizó la herramienta de software para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA desarrollada por el programa de Maestría en Ingeniería Terrestre del Instituto de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, mediante la cual se calcula el espesor de un pavimento a partir de las variables y procesos descritos en el presente informe. Benavides y Solano; implementaron los métodos AASHTO y de la Portland Concrete América (PCA) en su versión de 1984 en un software para diseño de pavimentos, el cual procesa los parámetros y consideraciones básicas de diseño para analizar la fatiga y erosión de la estructura y así obtener el dimensionamiento de esta.

Los principales parámetros que considera el método para el diseño son: a. Resistencia de la capa de apoyo de la losa de concreto. b. Tránsito. c. Periodo de diseño. d. Resistencia del concreto. e. Tipo de juntas y bermas.

Las principales consideraciones del método de diseño son: 1. Grado de transferencia de cargas. 2. Consideración de bermas. 3. Posibilidad de utilizar subbases. 4. Planteamiento de dos criterios de análisis: a) fatiga, para proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos y b) erosión, para limitar los efectos de la deflexión del pavimento. (Benavides y Solano, 1984).

7. Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de la presente investigación se realizó mediante tres etapas de trabajo: la inicial, fue la elección de una estructura en la ciudad de Pasto como fuente de material de reciclaje y posteriores procesos de demolición, retiro, transporte y procesamiento de material.

En la segunda etapa, se procedió a la caracterización de los materiales de reciclaje, agregados naturales, cemento y agua para continuar con la elaboración de diseños de mezcla en la producción de concretos con diferentes proporciones de agregados reciclados.

En la última etapa, se elaboraron especímenes para ser sometidos a ensayos y determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto y con estas características establecer la viabilidad de la utilización de agregados de residuos de construcción en la elaboración de concretos.

7.1. Obtención de los materiales para elaboración de las mezclas y muestras de concreto.

7.1.1. Agregado reciclado. Se buscó en la ciudad de Pasto estructuras de pavimento hidráulico en proceso de demolición, encontrando una losa ubicada en la calle 18B con carrera #42ª. En la figura 1, se muestra en la ubicación del lugar fuente de RCD para este estudio, y en la figura 2 la vista de las condiciones en las que se encontraba la estructura de pavimento durante su demolición y la disposición final de los residuos para la trituración.

Del tramo de pavimento demolido, que correspondió a 100 m de longitud y 7 m de ancho, se tomó aproximadamente 4 m³ de material RCD, cantidad estimada bajo el número y tamaño de las proporciones necesarias para determinar las características de una unidad muestreada de la especificación tipo INVIAS INV. E-201 “Muestreo de agregados para la construcción de carreteras”, el cual fue transportado a la cantera de Oscar Pabón para ser triturado mediante medios mecánicos: trituradora de mandíbulas.

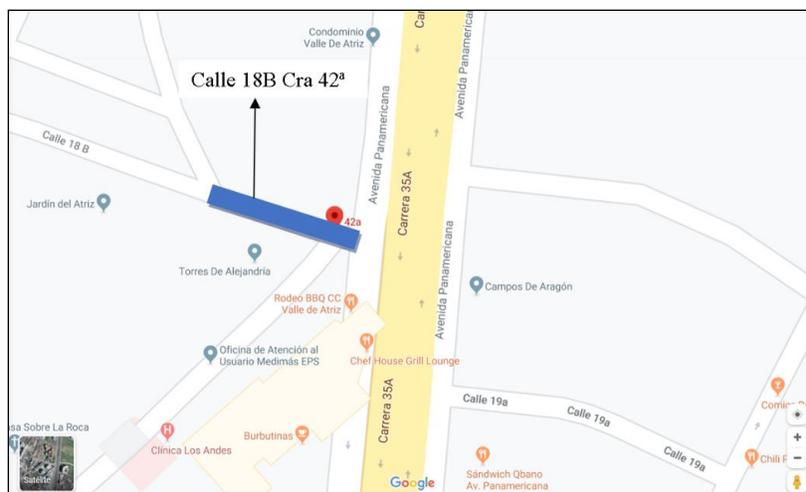


Figura 1

Localización construcción en proceso de demolición.

Nota. Adaptado de *localización calle 18B Cra 42ª, Pasto, Google Maps, 2019.*



Figura 2

Sitio del pavimento en demolición y disposición de RCD.

Una vez fragmentado el material es seleccionado manualmente con el fin de tener tamaños de agregados adecuados para la realización de granulometrías y posterior elaboración de mezclas de concreto. Cabe resaltar que, conseguir disponibilidad de trituradoras en el medio para realizar la actividad de procesamiento de material reciclado es casi nula, ya las máquinas están adaptadas para el tratamiento de agregados naturales.

Finalmente, se llevó a cabo el proceso de trituración y selección manual del material para

elaborar las mezclas de prueba de concreto con agregado reciclado, se cuantifico que de los 4 m³ iniciales transportados en su estado “demolidos” a la trituradora solamente se tomaron como útiles aproximadamente 2 m³ es decir solo el 50%, el resto se rechazó por sobre tamaños y polvo o fino de concreto. Ver figuras 1 y 2 del Anexo 2 – Registro fotográfico.

7.1.2. Agregados naturales. Los agregados convencionales como la arena y el triturado necesarios para complementar las mezclas, fueron provenientes de la cantera de Oscar Pabón, materiales que previamente ya tuvieron sus procesos de extracción, trituración y clasificación. Para la adecuada caracterización mecánica de los concretos, elaborados a partir de agregados reciclados, se decidió variar las proporciones de este material dentro de la mezcla y el resto se compensó con agregado grueso natural. Las proporciones utilizadas en las diferentes mezclas y sus diseños fueron 25%, 50%, 75% y 100% del total del agregado grueso. Ver figura 3 del Anexo 2 – Registro fotográfico.

7.1.3. Cemento. El cemento seleccionado como componente de las mezclas que se realizaron para fabricar los concretos a caracterizar fue cemento Portland tipo 1 de la marca Argos.

7.2. Caracterización física de los agregados reciclados y naturales

Siguiendo los lineamientos de las normas para ensayos y especificaciones generales de construcción de carreteras tipo INVIAS del año 2012 se realizaron los ensayos de caracterización física de los agregados reciclados y naturales que se presentan a continuación:

7.2.1. Densidad Bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto INV. E-217-13. Mediante los procedimientos indicados por el manual de ensayo de materiales para carreteras (Ministerio de Transporte, 2017) se determinó el peso unitario de los agregados en las condiciones sueltos o compactos, como se indica en la figura 3 y en tabla 1 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio.

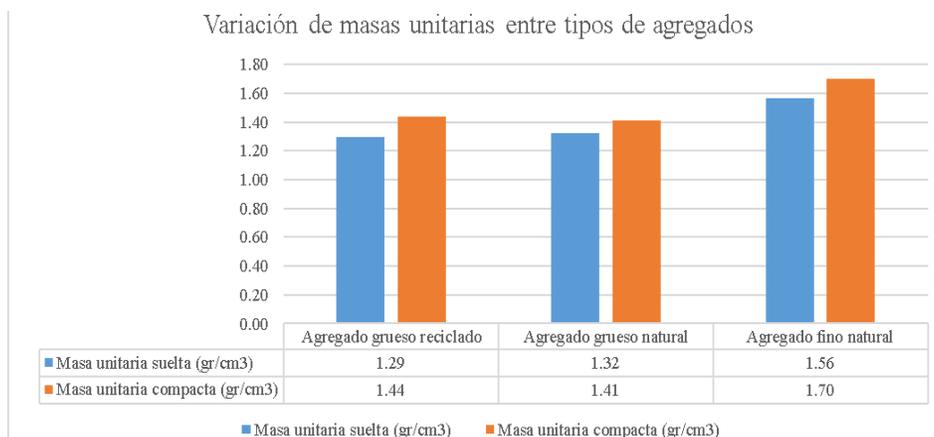


Figura 3

Variación de masas unitarias entre tipos de agregados.

7.2.2. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino INV. E-222-13. Mediante los procedimientos indicados por el Manual de normas de Ensayo de materiales para carreteras (Mintransporte, 2017), se determinó la densidad promedio, densidad relativa y absorción de los agregados. Como se puede observar en la figura 4, el agregado RCD posee baja densidad con relación a los agregados gruesos de origen natural y se observa que la absorción es mayor, influyendo en las proporciones de las mezclas, hidratación y resistencia final.

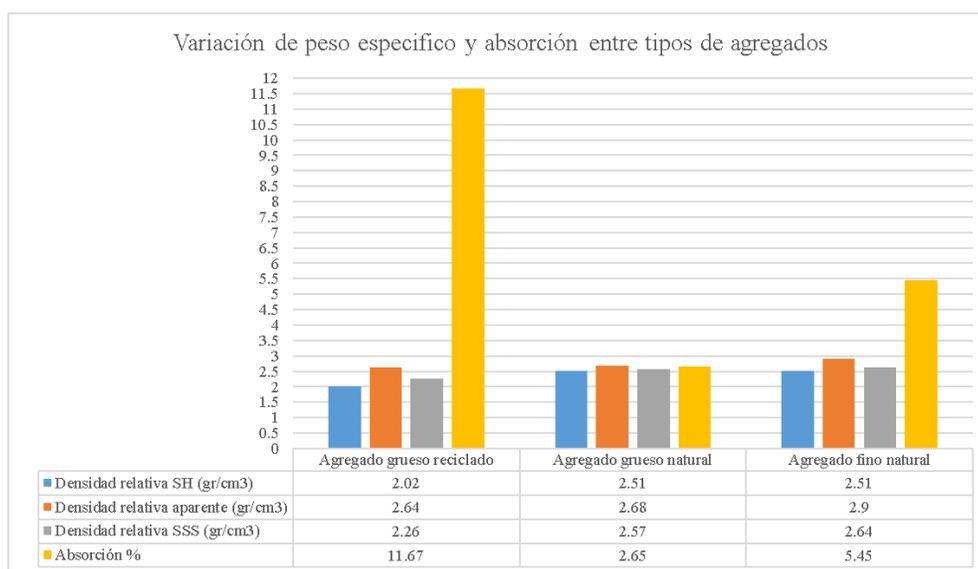


Figura 4

Variación de peso específico y absorción entre tipos de agregados.

Los resultados obtenidos son compatibles a las conclusiones indicadas por los estudios de

Cupacán y Pantoja (2010) en los que los agregados gruesos de origen reciclado tuvieron bajas densidades y alto porcentaje de absorción con respecto a agregados naturales al igual que en otros estudios citados con anterioridad. Ver tabla 2 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio.

7.3. Granulometría de los agregados

7.3.1. Agregado fino convencional (arena). Mediante el método de la norma INVIAS en su sección 200- Agregados Pétreos, Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino INV. E-213-13 (INVIAS, 2012) se determinó la granulometría de la arena para obtener la distribución de las partículas del material, tal como se indica en la tabla 3 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio.

La arena, de acuerdo con la obtención de la curva granulométrica mostrada en la figura 5, se tomó aceptable para continuar la elaboración de la mezcla ya que las porciones de mayores finos se balancearán con las porciones de mayores tamaños, lo cual indica que es un material que se encuentra dentro de los límites especificados para producir la mezcla según INV. art 500.2.1.3 (tabla 500 -1) y NTC 174 (INVIAS, 2012).

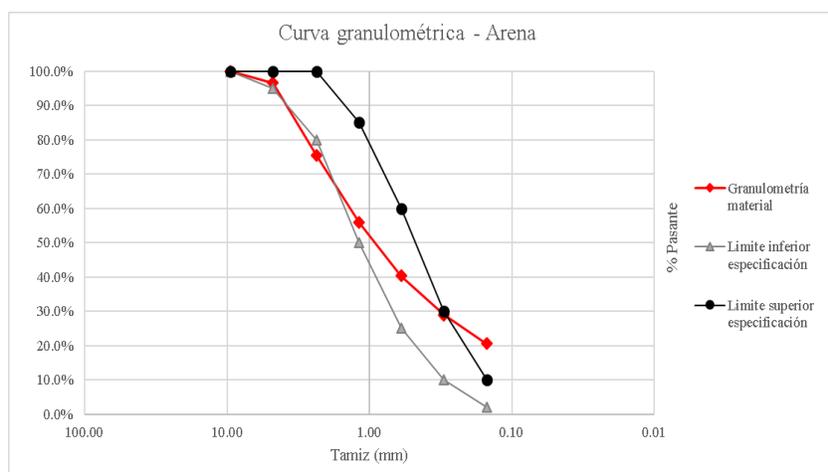


Figura 5
Curva granulométrica de la Arena.

Módulo de finura. Como parte del análisis de la granulometría del agregado fino se realiza el cálculo del módulo de finura y se define que el módulo de finura del material cumple los parámetros establecidos según INV. art 500.2.1.3.

$$MF = \frac{\sum(\%Ret. acumulado)}{100} = \frac{\sum(3/8" + No4 + No8 + No16 + No30 + No50 + No100)}{100}$$

$$= 2.82\% \quad (1)$$

7.3.2. Agregado grueso convencional (triturado). Para revisar la granulometría del agregado grueso convencional se utiliza el mismo procedimiento del agregado fino. En la tabla 4 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio, se indican los resultados.

El agregado grueso convencional de acuerdo con los límites superior e inferior especificados según INV. art 500.2.1.3, tabla 500 -1 (INVIAS, 2012) y Norma Técnica Colombiana 174, tabla 2 (2018, p. 8) presenta una gradación que cumple con los límites especificados, se consideró compensación de material entre porciones para ser aceptada la gradación, tal como se expone en la Figura 6.

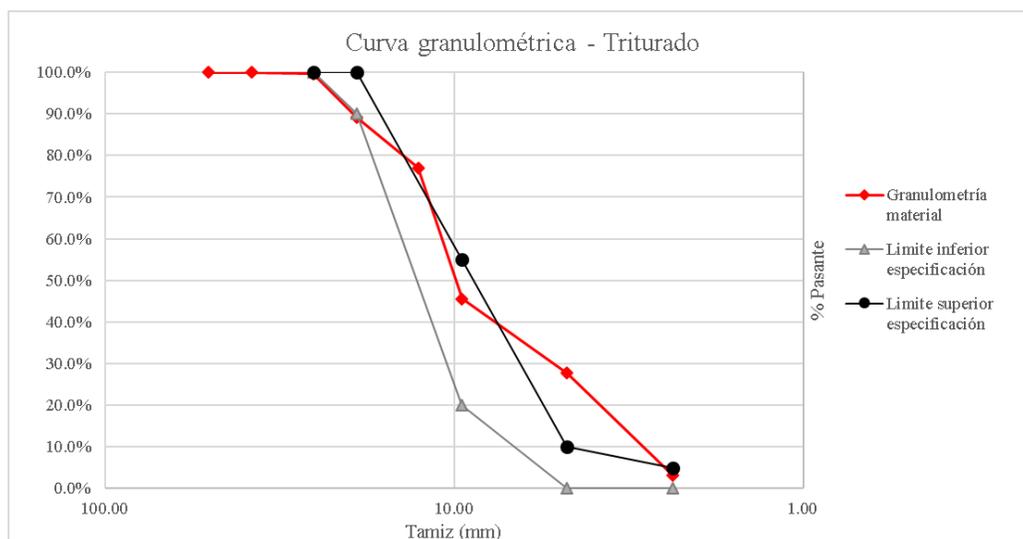


Figura 6
Curva granulométrica del triturado.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla, por el cual todo el agregado debe pasar. En este caso el 100% del material pasa por la malla de $1^{1/2}$, pero se retiene el 10% o menos, en la malla de 1.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal puede retener de 5% a 15% del agregado. En este caso, el tamaño nominal de la muestra es de 3/4”.

7.3.3. Agregado grueso reciclado (agregado RCD). Según la sección 200 - Agregados Pétreos, Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino INV. E-213-13 (INVIAS, 2012) el material de agregado grueso reciclado presenta la gradación mostrada en la tabla 5 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio. Para poder establecer una comparación de la gradación con respecto al agregado grueso natural, se utilizan las mismas especificaciones límites.

El material elegido como agregado RCD no se encuentra dentro de estos límites, con tendencia de mayor cantidad de material de tamaños grueso y de agregado fino, como se indica en la figura 7.

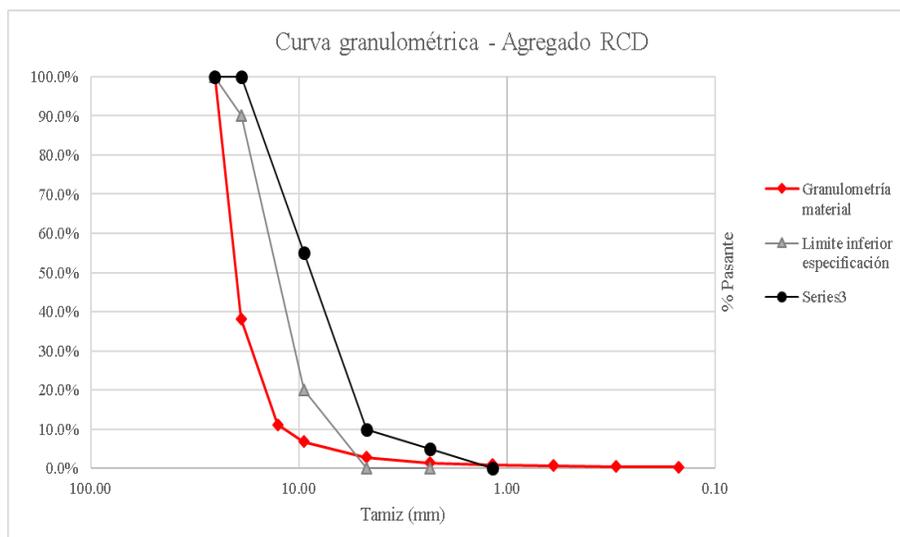


Figura 7
Curva granulométrica del agregado RCD.

Debido a que el material total que se utilizará como agregado grueso dentro de las mezclas y sus diseños, estará compuesto por un porcentaje de agregado RCD y el resto de agregado natural, las granulometrías se compensarán dentro de los límites de especificaciones.

7.4. Diseño de mezclas para elaboración de concretos con agregados reciclados.

Como parte de la delimitación de la investigación se estableció variar las proporciones del total de agregado grueso entre reciclado y natural conforme lo indica la tabla 1. De esta forma, se elaboró el diseño de mezclas para el tipo 1 y se varió al agregado grueso entre convencional y RCD para los demás tipos.

Tabla 1

Variación RCD dentro de la proporción de agregado grueso por tipo de mezcla.

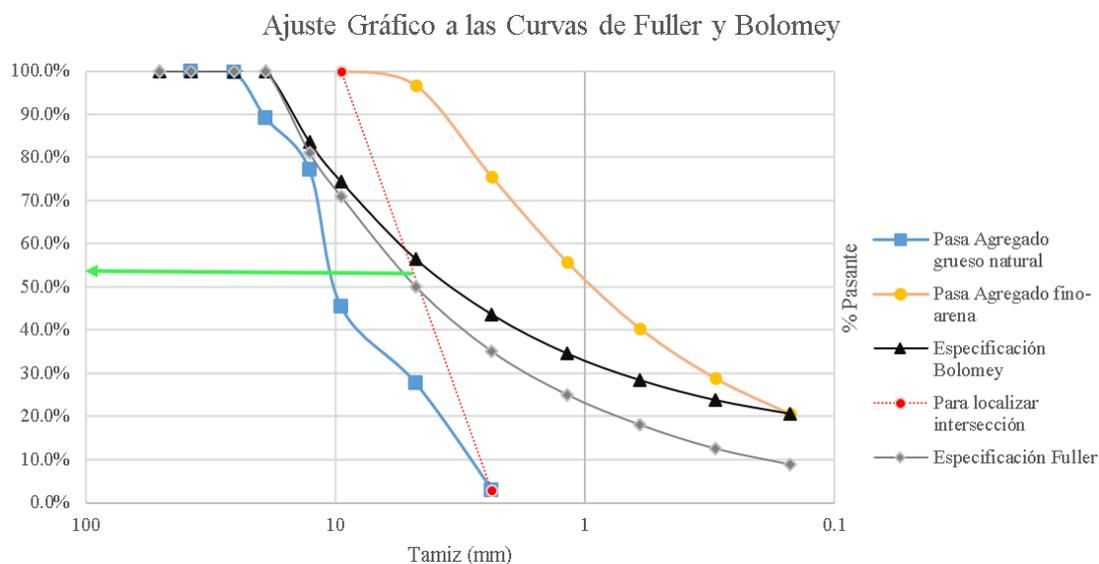
Mezcla	Agregado grueso dentro de la mezcla	
	% reciclado	% natural
Mezcla tipo 1	0	100
Mezcla tipo 2	25	75
Mezcla tipo 3	50	50
Mezcla tipo 4	75	25
Mezcla tipo 5	100	0

7.4.1. Cálculo de proporciones de agregado por método de ajuste gráfico a las curvas de Fuller y Bolomey. Mediante el procedimiento indicado en “Prácticas de Materiales de Construcción – I.T. Obras Públicas” de la universidad de alicante (García et al., 2008) se realiza el ajuste de la mezcla de agregados naturales, para obtener las proporciones de cada uno y obtener una gradación óptima de la combinación de agregados en las mezclas de concreto, como se indica en la tabla 2, y en la figura 8 se expone el ajuste gráfico.

Tabla 2

Gradaciones de agregados finos y gruesos naturales vs especificaciones.

Tamiz	Pasa Agregado grueso Convencional -	Pasa Agregado fino		Especificación	
		%	Convencional - Arena	Fuller y Thompson	Bolomey
No	mm	%	%	%	%
2"	50.8			100.0%	100.0%
1 1/2"	38.1	100.0%		100.0%	100.0%
1"	25.4	99.6%		100.0%	100.0%
3/4"	19	89.1%		100.0%	100.0%
1/2"	12.7	77.0%		81.0%	83.6%
3/8"	9.51	45.5%	100.0%	71.0%	74.5%
No 4	4.76	27.7%	96.6%	50.0%	56.5%
No 8	2.36	3.0%	75.5%	35.0%	43.7%
No 16	1.18		55.8%	25.0%	34.7%
No 30	0.6		40.4%	18.0%	28.5%
No 50	0.3		28.9%	12.5%	23.9%
No 100	0.15		20.6%	8.8%	20.7%

**Figura 8**

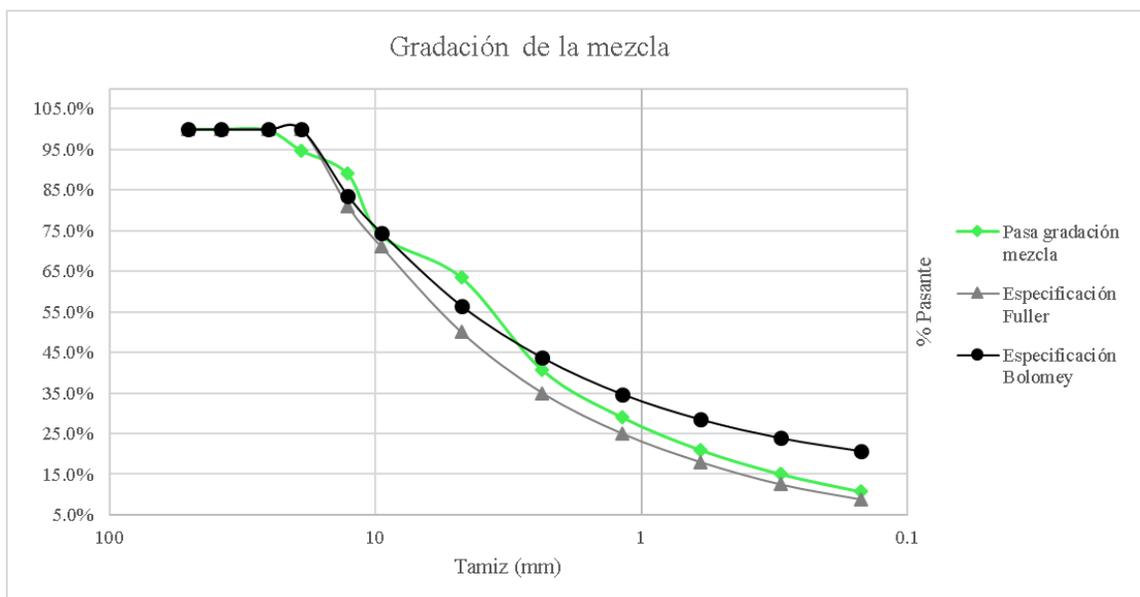
Ajuste gráfico a curvas de Fuller y Bolomey.

Con los anteriores resultados se realizó la tabla 3 y la figura 9, donde se indican las gradaciones de la mezcla ajustada a este método.

Tabla 3

Gradaciones de la mezcla ajustada a especificaciones de Fuller y Bolomey.

Tamiz		Pasa Agregado grueso - Natural	Pasa Agregado fino - Arena	Pasa Agregado grueso - Natural	Pasa Agregado fino - Arena	Gradación Mezcla
No	mm	48%	52%	% que pasa ajustada		
2"	50.8	100.0%	100.0%	48.0%	52.0%	100.0%
1 1/2"	38.1	100.0%	100.0%	48.0%	52.0%	100.0%
1"	25.4	99.6%	100.0%	47.8%	52.0%	99.8%
3/4"	19	89.1%	100.0%	42.8%	52.0%	94.8%
1/2"	12.7	77.0%	100.0%	37.0%	52.0%	89.0%
3/8"	9.51	45.5%	100.0%	21.8%	52.0%	73.8%
No 4	4.76	27.7%	96.6%	13.3%	50.2%	63.5%
No 8	2.36	3.0%	75.5%	1.5%	39.3%	40.7%
No 16	1.18	0.0%	55.8%	0.0%	29.0%	29.0%
No 30	0.6	0.0%	40.4%	0.0%	21.0%	21.0%
No 50	0.3	0.0%	28.9%	0.0%	15.0%	15.0%
No 100	0.15	0.0%	20.6%	0.0%	10.7%	10.7%

**Figura 9**

Gradación de la mezcla bajo las especificaciones según Fuller y Bollomey.

7.4.2. Diseño de Mezcla de Pruebas. Para la mezcla de prueba tipo 1, la que contiene agregado grueso 100% natural, se realizó el diseño de mezcla, con el objetivo de conocer las dosificaciones de los materiales, como se indica en la tabla 4.

Tabla 4

Procedimiento para diseño de mezclas: Mezcla tipo 1. Apoyo tablas Sánchez, (2000).

Diseño de mezclas Mezcla tipo 1	
<i>Calculo para un 1 m³ de concreto</i>	
Agregado fino	
<u>1</u> Modulo de finura	2.82
<u>2</u> Densidad relativa SH (g/cm ³)	2.5
<u>3</u> Absorción (%)	5.45
<u>4</u> Masa unitaria suelta (kg/m ³)	1565
<u>5</u> Masa unitaria apisonada (kg/m ³)	1703
<u>6</u> Materia orgánica	0
<u>7</u> Pasa tamiz #200(%)	14.86
Agregado Grueso 0% reciclado 100% natural	
<u>8</u> Tamaño máximo (mm)	25
<u>9</u> Densidad relativa SH (g/cm ³)	2.499
<u>10</u> Masa unitaria suelta (kg/m ³)	1324
<u>11</u> Masa unitaria apisonada (kg/m ³)	1411
<u>12</u> Absorción (%)	2.65
<u>13</u> Pasa tamiz #200(%)	3.01
Cemento Argos portland Tipo I	
<u>14</u> Densidad (kg/m ³)	2996
<u>15</u> Finura Blaine	3998
Elección de parámetros	
<u>16</u> Asentamiento escogido (cm)	5 Consistencia media Tabla 11.2
<u>17</u> Tamaño máximo del agregado en la mezcla (cm)	2.54
<u>18</u> Estimación del agua de la mezcla (kg/m ³), A=	183 Tabla 11.7
<u>19</u> Estimación de aire atrapado naturalmente%	1.5 Tabla 11.5
Determinación de la resistencia de diseño del concreto	
Se trabajó con una desviación estándar de 2.612 MPa de acuerdo al historial de datos recolectados por el laboratorio	
<u>20</u> Desviación estándar (Mpa)	2.612
<u>21</u> Resistencia especifica a la compresión F _c (Mpa)	21
<u>22</u> Resistencia promedio requerida a la compresión F _{cr} (Mpa)	24.5
Según NSR 10 Tabla C.5.3.2.1 ecuacion C.5-1	
Proporciones de componentes	
<u>23</u> Relación agua cemento A/C	0.49 Figura 11.4
<u>24</u> Porcentaje agregado fino %	52
<u>25</u> Porcentaje agregado grueso %	48
<u>26</u> Cemento (kg/m ³)	373

Una vez se definió la dosificación para la mezcla tipo 1, los resultados para generar las otras 4 mezclas se determinaron variando únicamente la proporción del agregado grueso con los porcentajes mencionados en agregado reciclado para cada caso, como se muestran en la tabla 5. Se aclara que se utilizó el mismo diseño de mezcla en sus proporciones para los tipos de concreto.

Tabla 5

Variación del agregado grueso en cada tipo de mezcla.

Agregado Grueso	Mezcla	Condición	Cemento	Arena	Agregado grueso	
					kg	kg
2.2	Mezcla tipo 1	0% reciclado 100% natural	50.000	118	109	0
2.4	Mezcla tipo 2	25% reciclado 75% natural	50.000	118	81.75	27.25
	Mezcla tipo 3	50% reciclado 50% natural	50.000	118	54.5	54.5
1	Mezcla tipo 4	75% reciclado 25% natural	50.000	118	27.25	81.75
	Mezcla tipo 5	100% reciclado 0% natural	50.000	118	0	109

7.5. Obtención del tamaño de la muestra de especímenes

Para establecer el tamaño de la muestra; es decir, la cantidad de especímenes a elaborar por tipo de mezcla de prueba, se toma la fórmula para estimar el tamaño de la muestra cuando no se conoce la población, como lo menciona Machado¹.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 N - 1 + Z^2 \sigma^2} \quad (2)$$

Donde **Z** es la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad (ver tabla 6 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio).

σ : desviación estándar de una variable cuantitativa. Se tomó como valor de desviación estándar dos condiciones: una tomada para la determinación de la resistencia promedio requerida a la compresión F'_{cr} que corresponde a la desviación, mediante el historial de datos recolectados por el laboratorio donde se desarrolló el experimento para concretos convencionales y dos, se tomó como desviación estándar el resultado de la prueba piloto del estudio realizado por Cupacán y Pantoja (2010) sobre la resistencia a la compresión de concreto elaborado a partir de agregado reciclado. Los valores de desviación estándar son de $\sigma_1=2.612$ y $\sigma_2=0.79$ Mpa respectivamente. Adicionalmente, la desviación estándar se modificó de acuerdo con lo indicado por NSR-10 en la tabla C.5.3.1.2 y por Cupacán y Pantoja (2010) (ver tabla 7 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio).

¹ Machado, A. Estadística II. Tamaño de la muestra y diseños muestrales muestreo concepto tipos diseños muestrales de uso frecuente aleatorio simple cálculo del tamaño muestral estimar la media poblacional estimar la proporción poblacional sistemático estratificado por conglomerado.

e: error máximo. Para este estudio se tomará un error del 2.1 Mpa que equivale al 10% de $F'c$ esperada. El tamaño del error fue escogido teniendo en cuenta C.5.6.3.3 de NSR-10 por el que se indica que una resistencia de un espécimen individual es satisfactoria cuando este máximo 3.5Mpa por debajo de $F'c$ o sea aproximadamente 16%.

N: tamaño de la población. De acuerdo con los parámetros descritos anteriormente, se calcula el tamaño de la muestra o población. En la tabla 8 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio, se indican los resultados. Siguiendo estos valores se determinó elaborar 12 especímenes por cada muestra tipo y cada tipo de ensayo, los cuales fueron ensayados así: a. Ensayo a la compresión: 4 a los 7 días, 4 a los 14 días y 4 a los 28 días. b. Ensayo a la Flexión: 4 a los 7 días, 4 a los 14 días y 4 a los 28 días.

7.6. Elaboración de cilindros de concreto para ensayo a compresión y vigas de concreto para ensayo a flexión.

Una vez obtenido el tamaño de la muestra por mezcla tipo, se procedió a elaborar los especímenes (cilindros y vigas) para aplicar los respectivos ensayos. En resumen, se llevó a cabo un procedimiento bajo los lineamientos de las normas de ensayo de materiales para carreteras tipo INVIAS en la sección 400: INV. E-401-13 Toma de muestras en concreto fresco, INV. E-402-13 elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión, INV. E-403-13 refrentado de cilindros de concreto, INV. E-404-13 Asentamiento del concreto de cemento hidráulico (Slump).

7.6.1. Materiales. De acuerdo con el resultado de la dosificación por peso y volumen de cada mezcla tipo, se cuantifica los materiales para proceder a elaborar las mezclas. En el trabajo se realizó dosificación de materiales por volumen, como se puede ver en la figura 4 del Anexo 2.

7.6.2. Mezclado. Se procedió a mezclar los componentes, arena, triturado (%natural + %RCD), cemento y agua en sus respectivas proporciones.

7.6.3. Medición de consistencia del concreto. Mediante el ensayo Slump con lineamientos indicados en INV. E-404-13, se mide el asentamiento del concreto para determinar su consistencia. Se toma una muestra del concreto fresco y se introduce en un molde tronco cónico con las medidas especificadas. El concreto se vacía en 3 capas y se procede a acomodar cada capa con la ayuda de una varilla conforme las especificaciones de norma. Cuando se ha completado el molde, se retira de manera que la mezcla quede en posición vertical, para poder medir su asentamiento respecto a la altura inicial. En la figura 5 del Anexo 2 - Registro fotográfico, se puede apreciar el ensayo.

7.6.4. Elaboración de especímenes para ensayo de resistencia a la compresión. Siguiendo los lineamientos de la especificación INV. E-402-13, se procede a elaborar los cilindros de concreto, vaciando las mezclas en tres capas en un molde cilíndrico de medidas específicas, cada capa es acomodada con una varilla que cumple las especificaciones de la norma y se golpea cuidadosamente los laterales del molde con el objetivo de liberar aire de la mezcla, como se puede apreciar en la figura 6 del Anexo 2 - Registro fotográfico. Una vez se han cumplido más de 24 horas se retira el molde.

7.6.5. Elaboración de especímenes para ensayo a la flexión. Los especímenes para el ensayo a flexión son vigas prismáticas de dimensiones establecidas en la especificación INV. E-402-13. Se coloca el concreto sobre el molde en dos capas, cada una es acomodada con varilla y se golpea cuidadosamente los laterales con el objetivo de liberar aire de la mezcla (ver figura 7 del Anexo 2 - Registro fotográfico). Una vez se han cumplido más de 24 horas retiran los moldes.

7.6.6. Curado de Especímenes. Una vez retirados los especímenes de concreto, se sumergen en agua para generar ambiente de curado. Los cilindros permanecen en el estanque, como se aprecia en la figura 8 del Anexo 2 - Registro fotográfico, hasta el momento del ensayo a compresión. Pero las vigas para ensayo a flexión son retiradas 20 horas antes del ensayo para ser inmersas en agua con hidróxido de calcio, como lo indica la especificación de la norma INVIAS.

7.6.7. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto. La resistencia a la compresión de cilindros de concreto se obtiene al someter los especímenes a una carga axial

de compresión a una velocidad de carga prescrita hasta que presente falla como lo indica el método de la especificación INV. E-410-13 (INVIAS, 2012). Una vez los cilindros son retirados de la zona húmeda de curado, se determina la densidad del concreto que los compone. Cada cilindro es colocado sobre el bloque de carga inferior de la máquina de ensayo en posición correcta, se verifica los indicadores de carga y velocidad de aplicación, y se inicia la aplicación de la carga hasta que se evidencie en el cilindro una fractura bien definida. De esta forma se obtiene la carga máxima soportada y con relación al área del espécimen se determina el esfuerzo a compresión alcanzado en cada cilindro como se aprecia en la figura 9 del Anexo 2 - Registro fotográfico. Los ensayos de compresión se aplicaron a las edades de curado de 7, 14 y 28 días, como lo indica la tabla 9 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio, tomada de las especificaciones tipo INV. E-410.

7.6.8. Ensayo de Resistencia a Flexión de Vigas de Concreto. Para obtener la resistencia a la flexión del concreto, se aplica el ensayo denominado “Resistencia a la flexión del concreto utilizando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre” INV. E-414-13 (Invias, 2012). Una vez los especímenes fueron retirados de la zona húmeda para proceso de curado, se coloca uno por uno sobre los bloques de soporte de forma centrada, se ubican los elementos para aplicar la carga y a través de la maquina se aplica de forma continua hasta que se presente la falla. En la figura 10 del Anexo 2 - Registro fotográfico, se puede ver el ensayo.

8. Procesamiento de datos y análisis de resultados

8.1. Agregados gruesos naturales vs agregados gruesos reciclados

Una vez realizada la caracterización de los materiales a utilizar en las mezclas de prueba de concreto, se evidenciaron diferencias en sus características físicas y mecánicas, aspectos importantes para tener en cuenta debido a que influirán en los resultados de los concretos.

Los agregados reciclados poseen densidades relativamente bajas, hasta un 20% menores a las densidades de los agregados naturales, pero así mismo poseen un mayor porcentaje de absorción del 11.67% con respecto a la absorción de los agregados naturales utilizados en este proyecto, que es de 2.65% es decir 4 veces mayor. Lo anterior indica que posiblemente los

agregados reciclados por poseer en su conformación un conglomerado de agregados, arena, cemento y vacíos generados en la mezcla de donde pertenecieron, poseen una mayor porosidad que influirán directamente en la absorción del agua de mezclado y en la necesidad de mayor hidratación inicial durante el curado del concreto en el que vayan a formar. De esta manera, se refuerza los resultados obtenidos por Cardona y López (2016, p. 39) y, Cupacan y Pantoja (2010).

8.2. Comportamiento de la mezcla de concreto no endurecido

De las mezclas tipo, se realizó el ensayo para medir la consistencia del concreto en estado fresco, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 6 y figura 10.

Tabla 6

Relación asentamiento de concreto no endurecido con respecto al contenido de RCD.

Mezcla	Agregado grueso dentro de la mezcla		Asentamiento (cm)
	% reciclado	% natural	
Mezcla tipo 1	0	100	6.3
Mezcla tipo 2	25	75	5.2
Mezcla tipo 3	50	50	4.9
Mezcla tipo 4	75	25	5
Mezcla tipo 5	100	0	5

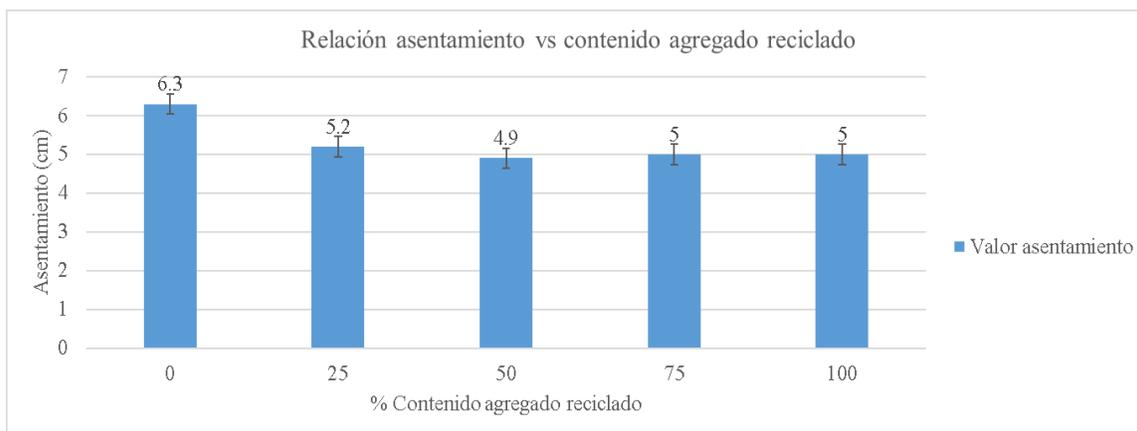


Figura 10

Relación asentamiento vs contenido de RCD en cada tipo de mezcla.

Se puede evidenciar que al mantener la relación A/C constante y considerando el alto porcentaje de absorción de los agregados reciclados, lo que influye notablemente en la consistencia y manejabilidad de las mezclas con RCD, hace que el agua de mezclado sea absorbida, generando

un asentamiento menor con respecto a la mezcla de prueba tipo 1 (agregado grueso 100% natural).

Por otro lado, la forma de las partículas y la textura superficial más rugosa del agregado reciclado también influye en la manejabilidad y consistencia de la mezcla. Para la aplicación en posibles productos de la construcción es importante tener en cuenta este parámetro ya que la manejabilidad de las mezclas, tiempos de mezclado y cantidad de agua de elaboración, inciden en los factores económicos para fabricación de estos concretos.

8.3. Evaluación de resistencia a la compresión de concretos endurecidos

Mediante el procedimiento descrito en el ensayo de compresión de cilindros de concreto, se obtienen los resultados de resistencia a la compresión para los 12 especímenes de cada mezcla de prueba y mediante métodos estadísticos se obtiene la desviación estándar de estos resultados.

Media aritmética:
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Desviación estándar:
$$DE_{\text{muestra}} = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Los resultados de desviación estándar a los 28 días varían entre tipos de mezclas de prueba debido a su composición o contenido de agregado reciclado como indica las tablas 7 y 8; para este estudio se tomará como valor de desviación estándar promedio 7.6 kg/cm^2 , lo que indica que hay una dispersión baja entre los resultados o los resultados están agrupados cerca a la media aritmética; de igual manera, es un valor de desviación muy cercano al obtenido por Cupacan y Pantoja (2010) en su estudio denominado “Evaluación técnica y económica del concreto no convencional fabricado a partir de agregados provenientes del reciclaje de escombros de concreto” cuyo valor obtenido fue de 0.79 Mpa.

Tabla 7

Relación de resultados de ensayo a la compresión de cilindros de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba.

Cilindro No	Referencia	Resistencia específica a la compresión F_c	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga de falla (kg)	Resistencia la compresión a los 7 días (psi)	Resistencia la compresión a los 14 días (psi)	Resistencia la compresión a los 28 días (psi)	Media aritmética	Desviación estandar (psi)	Desviación estandar (Kg/cm2)	
						Diametro (cm)	Area (cm2)								
1	Mezcla de prueba No1	3000 psi	6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	29845	2319						
2			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	27841	2163						
3			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	26563	2064				2163	112	7.8
4			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	27091	2105						
5			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	39784				3091			
6			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	42058				3268			
7			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	42338				3290	3171	126	8.8
8			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	39081				3037			
9			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	56742					4409		
10			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	55561					4317		
11			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	54737					4337	67	4.7
12			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	56237					4370		
1	Mezcla de prueba No2	3000 psi	6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	26385	2050						
2			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	27422	2131						
3			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	26140	2031				2052	57	4.0
4			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25690	1996						
5			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	38603				3000			
6			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	39142				3041			
7			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	38727				3009	3004	31	2.2
8			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	38181				2967			
9			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	50184					3899		
10			6-jul-18	28	3-ago-18	15	176.7	51635					4174		
11			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	49012					4000	174	12.2
12			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	52993					4118		

Tabla 8

Relación de resultados de ensayo a la compresión de cilindros de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba. (Continuación).

Cilindro No	Referencia	Resistencia específica a la compresión F _c	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga de falla (kg)	Resistencia la compresión a los 7 días (psi)	Resistencia la compresión a los 14 días (psi)	Resistencia la compresión a los 28 días (psi)	Media aritmética	Desviación estándar (psi)	Desviación estándar (Kg/cm ²)	
						Diametro (cm)	Area (cm ²)								
1	Mezcla de prueba No3	3000 psi	6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25684	1996			1998	17	1.2	
2			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25443	1977						
3			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25784	2003						
4			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25956	2017						
5			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	36820		2861					
6			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	37584		2920			2896	41	2.9
7			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	36824		2861					
8			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	37861		2942					
9			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	45823				3561			
10			6-jul-18	28	3-ago-18	15	176.7	46318				3744	3562	129	9.1
11			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	44486				3457			
12			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	44850				3485			
1	Mezcla de prueba No4	3000 psi	10-feb-19	7	17-feb-19	15.3	183.9	24332	1891			1894	16	1.1	
2			10-feb-19	7	17-feb-19	15.3	183.9	24621	1913						
3			10-feb-19	7	17-feb-19	15.3	183.9	24420	1897						
4			10-feb-19	7	17-feb-19	15.3	183.9	24119	1874						
5			10-feb-19	14	24-feb-19	15.3	183.9	36565		2841					
6			10-feb-19	14	24-feb-19	15.3	183.9	35898		2789			2838	34	2.4
7			10-feb-19	14	24-feb-19	15.3	183.9	36887		2866					
8			10-feb-19	14	24-feb-19	15.3	183.9	36750		2856					
9			10-feb-19	28	10-mar-19	15.3	183.9	46084				3581			
10			10-feb-19	28	10-mar-19	15	176.7	44652				3610	3610	22	1.6
11			10-feb-19	28	10-mar-19	15.3	183.9	46500				3613			
12			10-feb-19	28	10-mar-19	15.3	183.9	46785				3635			

Cilindro No	Referencia	Resistencia específica a la compresión F'c	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones		Carga de falla (kg)	Resistencia la compresión a los 7 días (psi)	Resistencia la compresión a los 14 días (psi)	Resistencia la compresión a los 28 días (psi)	Media aritmética	Desviación estandar (psi)	Desviación estandar (Kg/cm2)		
						Diametro (cm)	Area (cm2)									
1	Mezcla de prueba No5	3000 psi	6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	23268	1808							
2			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25895	2012							
3			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	22254	1729			1889	142	10.0		
4			6-jul-18	7	13-jul-18	15.3	183.9	25811	2006							
5			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	34714			2697					
6			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	36436			2831					
7			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	36582			2842		2757	94	6.6	
8			6-jul-18	14	20-jul-18	15.3	183.9	34176			2656					
9			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	42565					3307			
10			6-jul-18	28	3-ago-18	15	176.7	43658					3529			
11			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	41356					3213	3386	151	10.5
12			6-jul-18	28	3-ago-18	15.3	183.9	44958					3493			

8.3.1. Interpretación de tipos de falla de los resultados de ensayo de resistencia a la compresión. Como se puede evidenciar en la figura 11 del Anexo 2 – Registro fotográfico, a edades menores a los 28 días, el material de la capa superficial de los cilindros se desprende en el momento de la falla; en cambio cuando ya ha alcanzado los 28 días se ven fallas claras de tipo 1, 2, 3 según la figura 12 del Anexo 2. Sobre las características de los resultados del ensayo, en cuanto al comportamiento del concreto con RCD, el tipo de falla tiende a asemejarse al de un concreto normal o convencional, como se aprecia en la figura 13 del mismo anexo.

8.3.2. Resistencia a la compresión alcanzada. Como se mencionó anteriormente, para el análisis a compresión se realizaron cilindros de concreto; se llevó a cabo el proceso de curado y se ensayaron de acuerdo con lo establecido en INV. E-410. Las resistencias promedio a compresión F'_{cr} se indican en la tabla 9.

Tabla 9

Resistencia a la compresión promedio F'_{cr} por cada mezcla, obtenidas a las edades del ensayo.

TIPO DE MEZCLA	Resistencia a la compresión promedio F'_{cr} (Mpa)		
	7 días	14 días	28 días
Mezcla tipo 1-solo Agregado natural	15.14	22.20	30.36
Mezcla tipo 2-25 % Agregado reciclado	14.36	21.03	28.00
Mezcla tipo 3-50 % Agregado reciclado	13.99	20.27	24.93
Mezcla tipo 4-75 % Agregado reciclado	13.26	19.87	25.27
Mezcla tipo 5-100 % Agregado reciclado	13.22	19.30	23.70

Para la formulación del diseño de mezcla base y obtención de la muestra para el desarrollo de este proyecto, se trabajó con una desviación estándar de 2.612 Mpa, resultado del historial de datos del laboratorio de la investigación y se usó la formula C.5-1 de la tabla C.5.3.1.2 “Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de muestra” del Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente para conocer la resistencia especifica promedio.

$$F'_{cr} = F'_{c} + 1.34 * \sigma \quad (4)$$

Donde; F'_{cr} : Resistencia promedio a la compresión requerida. σ : Desviación estándar, y F'_{c} : Resistencia de diseño. Despejando, se tiene que

$$F'c = F'cr - 1.34 * \sigma \quad (5)$$

De esta manera, se llevaron a cabo los cálculos y se obtuvo los datos mostrados en la tabla 10, con los cuales se realizó la curva de desarrollo de resistencias a 7, 14 y 28 días para conocer el comportamiento de las mezclas, plasmada en la figura 11.

Tabla 10

Resistencia a la compresión específica por mezcla obtenidas a las edades de ensayo.

TIPO DE MEZCLA	Resistencia a la compresión afectada por desviación estandar		
	7 días	14 días	28 días
Mezcla tipo 1-solo Ag natural	11.64	18.70	26.86
Mezcla tipo 2-25 % Ag reciclado	10.86	17.53	24.50
Mezcla tipo 3-50 % Ag reciclado	10.49	16.77	21.43
Mezcla tipo 4-75 % Ag reciclado	9.76	16.37	21.77
Mezcla tipo 5-100 % Ag reciclado	9.72	15.80	20.20

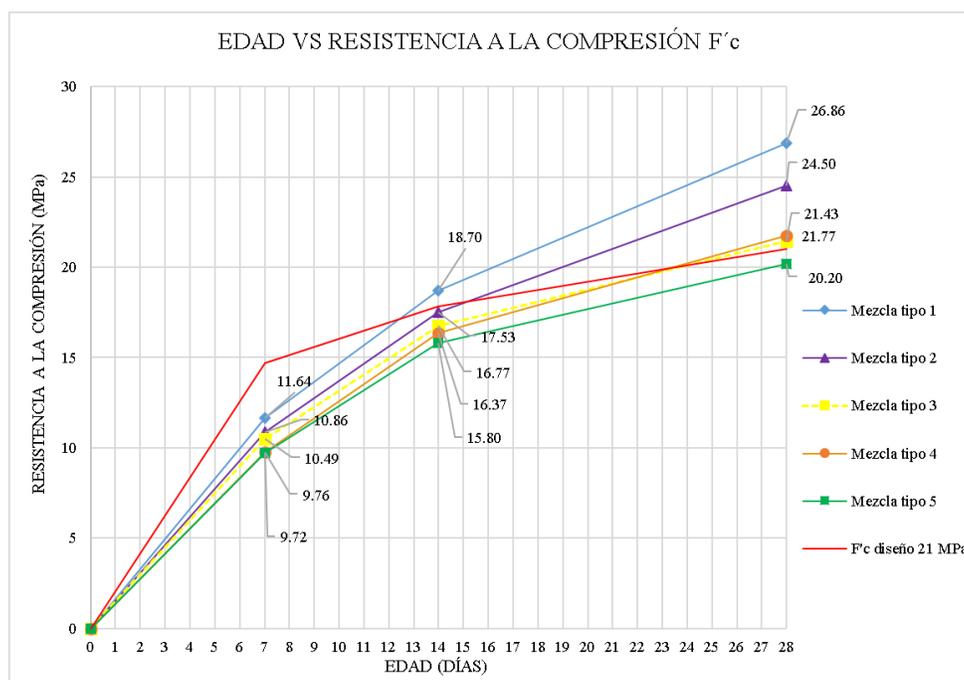


Figura 11

Edad vs resistencia a la compresión de concretos elaborados a partir de RCD.

Para establecer un parámetro de comparación, la mezcla tipo 1 fue diseñada y elaborada únicamente con agregados de cantera, la cual presentó una resistencia promedio a la compresión

que sobrepasa la resistencia especificada de 21 MPa en un 27.7%. La mezcla 2 mantiene una mejor resistencia cercana a los resultados de la especificación. Las mezclas 3 y 4 se encuentran dentro de la resistencia especificada pero distantes al resultado de la mezcla 1, con valores de resistencia menores en un 20.2% y 18.9%. La mezcla 5 la cual tiene 100 % de agregado grueso RCD, se encuentra por debajo de la resistencia especificada.

Las mezclas con un porcentaje mayor o igual al 25% de agregado RCD como parte del agregado grueso, desarrollan menores resistencias a la compresión a la edad de 7 días de curado, alcanzando un 45% de la resistencia final, menor a la esperada, que es del 60% de la especificada. Como se había mencionado anteriormente, el porcentaje elevado de absorción del material reciclado influye en la hidratación inicial del cemento y por lo tanto directamente en la resistencia inicial del concreto. Cabe aclarar que no se realizó corrección por absorción en las mezclas de concreto con RCD, teniendo en cuenta que se pretendía conocer cuáles eran las características de este material manteniendo constante para todas las mezclas la variable relación A/C.

De acuerdo con este análisis, los concretos compuestos hasta con un 75% por concreto reciclado, alcanzan resistencias a la compresión óptimas, cercanas a las requeridas por diseño; sin embargo, se debe tener en cuenta una observación importante indicada anteriormente y es que este tipo de concretos alcanzan bajas resistencias en edades tempranas bajo un proceso de curado ideal de laboratorios, es decir, que para aplicaciones de la construcción en condiciones normales se debe tener prioridad por los procesos de humectación del concreto.

8.4. Evaluación de resistencia a la flexión de concretos endurecidos

Mediante el procedimiento descrito anteriormente, se obtienen los resultados de resistencia a la flexión de los 12 especímenes de cada mezcla de prueba, y mediante métodos estadísticos se obtiene la desviación estándar de los resultados como se puede apreciar en las tablas 11 y 12. En el presente estudio, se determinó la desviación estándar con los resultados obtenidos de la resistencia a la flexión a los 28 días de los especímenes de las mezclas elaboradas, los cuales varían debido a su composición o contenido de RCD. Se tomará como resultado la desviación estándar promedio de 0.44 kg/cm², indicando una dispersión baja entre los resultados.

Tabla 11

Relación de resultados de ensayo a la flexión de vigas de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba.

Cilindro No	Referencia	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones			Carga de rotura N (kgf)	Modulo de rotura a los 7 dias (kgf/cm2)	Modulo de rotura a los 14 dias (kgf/cm2)	Modulo de rotura a los 28 dias (kgf/cm2)	Media aritmetica	Desviación estandar (Kg/cm2)
					Longitud Entre apoyos l (cm)	Ancho promedio muestra b (cm2)	Altura promedio muestra d (cm2)						
1	Mezcla de prueba No1	10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2341	31.21			30	0.70
2		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2269	30.25				
3		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2220	29.60				
4		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2311	30.81				
5		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2566		34.21		37	1.79
6		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2756		36.75			
7		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2739		36.52			
8		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2893		38.57			
9		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3329			44.39	44	0.68
10		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3256			43.41		
11		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3340			44.53		
12		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3238			43.17		
1	Mezcla de prueba No2	10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2201	29.35			29	0.28
2		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2231	29.75				
3		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2185	29.13				
4		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2224	29.65				
5		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2651		35.35		35	0.09
6		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2642		35.23			
7		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2649		35.32			
8		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2658		35.44			
9		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3107			41.43	42	0.35
10		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3144			41.92		
11		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3155			42.07		
12		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	3168			42.24		

Tabla 12

Relación de resultados de ensayo a la flexión de vigas de concreto pertenecientes a cada mezcla de prueba (Continuación).

Cilindro No	Referencia	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones			Carga de rotura N (kgf)	Modulo de rotura a los 7 dias (kgf/cm ²)	Modulo de rotura a los 14 dias (kgf/cm ²)	Modulo de rotura a los 28 dias (kgf/cm ²)	Media aritmetica	Desviación estandar (Kg/cm ²)
					Longitud Entre apoyos l (cm)	Ancho promedio muestra b (cm ²)	Altura promedio muestra d (cm ²)						
1		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2126	28.35				
2		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2158	28.77			28	0.30
3		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2103	28.04				
4		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2123	28.31				
5		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2598		34.64			
6	Mezcla de prueba No3	10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2552		34.03		34	0.44
7		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2548		33.97			
8		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2519		33.59			
9		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2862			38.16		
10		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2921			38.95	38	0.57
11		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2907			38.76		
12		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2827			37.69		
1		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2055	27.40				
2		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2068	27.57			27	0.13
3		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2044	27.25				
4		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2056	27.41				
5		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2551		34.01			
6	Mezcla de prueba No4	10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2532		33.76		34	0.18
7		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2559		34.12			
8		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2563		34.17			
9		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2866			38.21		
10		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2897			38.63	39	0.29
11		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2905			38.73		
12		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2917			38.89		

Cilindro No	Referencia	Fecha de elaboración	Edad de ensayo	Fecha de ensayo	Dimensiones			Carga de rotura N (kgf)	Modulo de rotura a los 7 dias (kgf/cm2)	Modulo de rotura a los 14 dias (kgf/cm2)	Modulo de rotura a los 28 dias (kgf/cm2)	Media aritmetica	Desviación estandar (Kg/cm2)
					Longitud Entre apoyos l (cm)	Ancho promedio muestra b (cm2)	Altura promedio muestra d (cm2)						
1		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2056	27.41				
2		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	1985	26.47				
3		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	2015	26.87			27	0.67
4		10-feb-19	7	17-feb-19	45	15.0	15.0	1936	25.81				
5		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2426		32.35			
6	Mezcla de prueba No5	10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2468		32.91		33	0.40
7		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2474		32.99			
8		10-feb-19	14	24-feb-19	45	15.0	15.0	2498		33.31			
9		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2688			35.84		
10		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2656			35.41	36	0.32
11		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2701			36.01		
12		10-feb-19	28	10-mar-19	45	15.0	15.0	2712			36.16		

8.4.1. Resistencia a la flexión alcanzada. Como se mencionó anteriormente, para el análisis a flexión se realizaron elementos prismáticos o vigas de concreto, y se ensayaron a flexión, simplemente apoyadas, de acuerdo con los parámetros establecidos en la norma INV. E-414 (ver tabla 13).

Tabla 13

Desarrollo de resistencia a flexión para cada mezcla según la cantidad de RCD.

TIPO DE MEZCLA	Resistencia a la flexión R (Mpa)		
	7 días	14 días	28 días
Mezcla tipo 1-solo Agregado natural	3.05	3.65	4.39
Mezcla tipo 2-25 % Agregado reciclado	2.95	3.53	4.19
Mezcla tipo 3-50 % Agregado reciclado	2.84	3.41	3.84
Mezcla tipo 4-75 % Agregado reciclado	2.74	3.40	3.86
Mezcla tipo 5-100 % Agregado reciclado	2.66	3.29	3.59

El Instituto Nacional de Vías establece el valor del módulo de rotura como el resultado de las siguientes ecuaciones. Sí la fractura inicia en la zona de tensión, dentro del tercio medio de la luz libre,

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2} \quad (6)$$

Sí la fractura ocurre fuera del tercio medio de la luz libre, pero a una distancia no mayor de 5% de la luz libre,

$$MR = \frac{3 * P * A}{b * d^2} \quad (7)$$

Donde, P: carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N); L: luz libre entre apoyos, (mm); b: ancho promedio del espécimen en el sitio de la fractura, (mm); d: altura promedio de la muestra en el sitio de la fractura, (mm); a: distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano, medida sobre la superficie de tensión de la viga, (mm).

Por otro lado, la tabla 500-6 (INVIAS, 2012) del capítulo 5: Pavimentos de concreto del Instituto Nacional de Vías, solicita como requisito de resistencia a la flexotracción a los 28 días,

para tránsito NT1 un valor mínimo de 3.8 Mpa. Este valor está determinado a partir de la siguiente ecuación, en función de la resistencia de diseño a compresión, 21Mpa ($F'c$):

$$2.585 * \sqrt{\frac{F'c}{10}} \quad (8)$$

Con los valores obtenidos por cada tipo de mezcla se construye la curva de desarrollo de resistencia a flexión para cada tipo de mezcla como indica la figura 12.

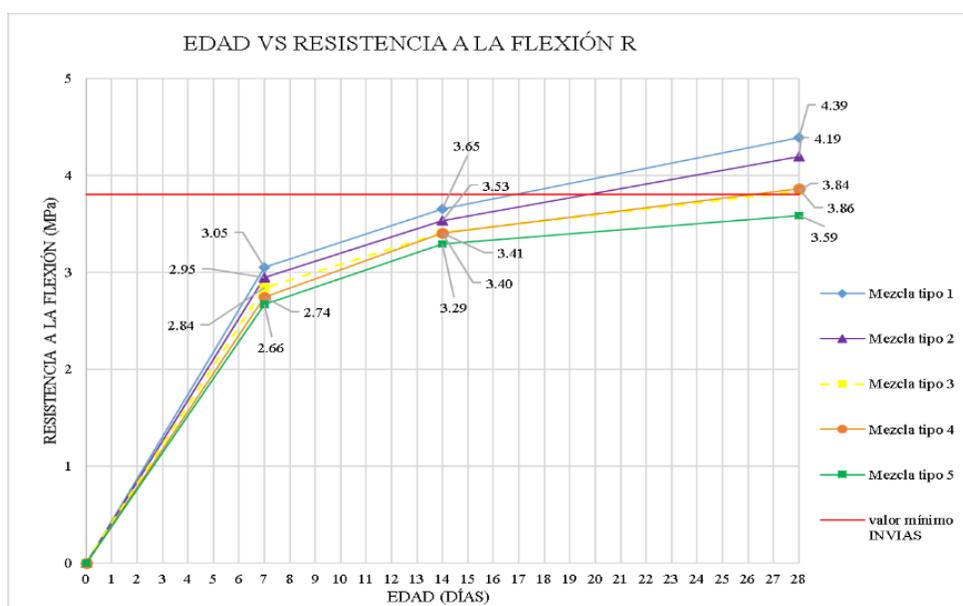


Figura 12

Gráfica edad vs resistencia a la flexión de concretos elaborados a partir de RCD.

La resistencia a flexión alcanzada por los especímenes elaborados con la mezcla tipo 1 sobrepasa la resistencia a la flexión para pavimentos de tránsito tipo NT1 en un 15.5%. La mezcla tipo 2, mantiene una resistencia a la flexión superior a los resultados de la mezcla tipo 1 y a la resistencia especificada para NT1. De igual manera, las mezclas tipo 3 y 4 se encuentran dentro de la resistencia especificada, con poca diferencia al resultado de la mezcla tipo 1 y sobrepasando la especificada para NT1 apenas en el 1%.

El resultado de la mezcla tipo 5, la cual contiene 100 % de agregado RCD, se encuentra debajo del valor mínimo exigido por el Instituto Nacional de Vías en un 6.25 %, es decir no cumple el criterio de diseño para mezcla de concreto para pavimentos.

Adicionalmente se realizó un análisis mediante la herramienta estadística de varianzas denominada ANOVA y prueba de Tuckey (Anexo 4 - Análisis estadístico ANOVA), por la cual no se evidenció diferencias significativas entre la mezcla tipo 2 (25% reciclado) y la mezcla tipo 1 (100% natural), mientras que si se evidencio con la mezcla tipo 3 (50% reciclado), mezcla tipo 4 (75% reciclado) y mezcla tipo 5 (100% reciclado) con respecto a la mezcla tipo 1, (todos con medias superiores a la misma). Por otra parte, se evidenció también diferencias entre la mezcla tipo 2, con el tipo 3, 4 y 5. Entre la mezcla tipo 3 y 4 también hubo diferencias, mientras que no lo hubo entre las mezclas tipo 4 y 5, y, 3 y 5.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta los gastos, la mezcla óptima estadísticamente sería el tipo 3, pues arroja los mismos resultados que la 5 y la diferencias con la mezcla 4, a pesar de que es menor, es relativamente cercana.

Como posibilidad para aplicaciones en productos de construcción más explícitamente generación de mezclas de concretos para pavimentos, se encuentra satisfactorios los resultados obtenidos para las mezclas de prueba tipo 2, 3 y 4; es decir, que en su contenido de agregado grueso lo compone el 25%, 50% y 75% de agregado producto del reciclaje.

8.5. Evaluación de las resistencias alcanzadas con respecto a las resistencias específicas

Las mezclas tipo fueron propuestas conservando la misma cantidad de cemento y arena por metro cubico de concreto, por consiguiente, se puede analizar que a la mezcla 5 la cual contiene 100% de agregado grueso RCD, para lograr la resistencia especificada, se debería realizar otro diseño de mezcla, en donde posiblemente se tenga un incremento en la cantidad de cemento, lo que implicaría un mayor costo de producción.

En la figura 13 se observa la resistencia a la compresión alcanzada por cada tipo de mezcla y en la figura 14 la resistencia a flexión lograda por cada mezcla.

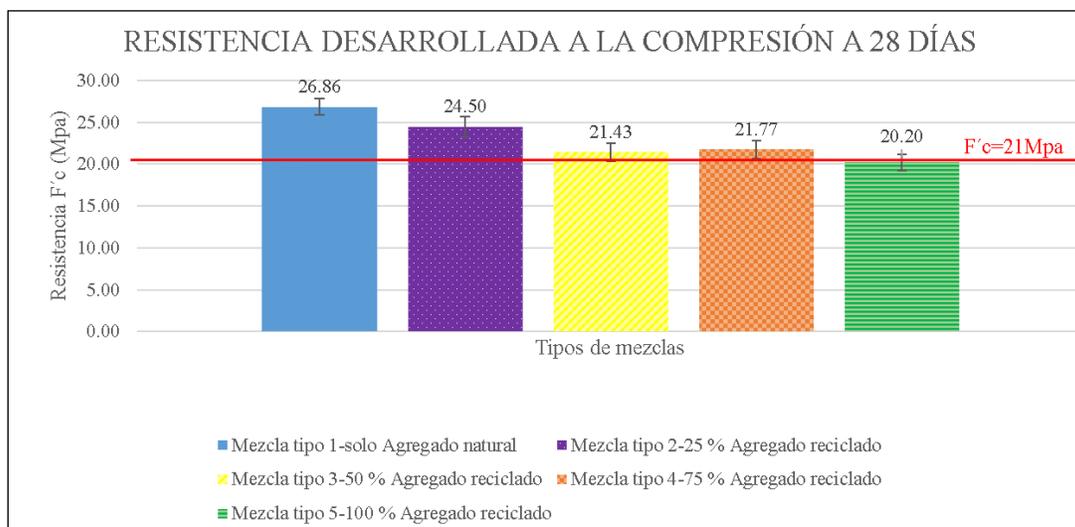


Figura 13
Comparación entre resultados de compresión de las mezclas elaboradas con RCD.

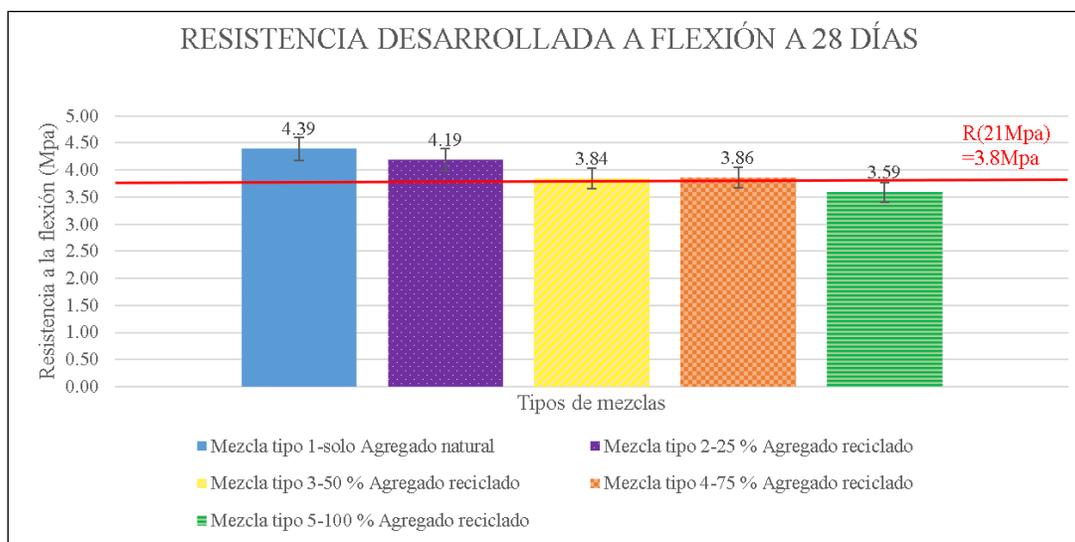


Figura 14
Comparación entre resultados de flexión de las mezclas elaboradas con RCD.

Los resultados indicados anteriormente son consistentes teniendo en cuenta que la mezcla tipo 5 se encuentra por debajo del límite especificado en ambas mediciones de resistencia de compresión y resistencia a la flexión o módulo de rotura a los 28 días. También, se puede

evidenciar que las mezclas tipo 1, 2, 3 y 4 superan el límite especificado para pavimentos de concreto hidráulico para tránsito NT1, de acuerdo con el capítulo “Pavimentos de Concreto” del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

9. Análisis económico mediante software BS-PCA 1984 para diseño de pavimentos rígidos

Los agregados RCD, como se estudió anteriormente, han sido elegidos para distintas aplicaciones de la construcción, ya sea como componente de capas de rodadura, o formando mezclas de concreto para constituir elementos estructurales; en la presente investigación se realizará el análisis de la viabilidad económica de la utilización de los RCD estudiados, aplicándolos para producir mezclas de concreto y conformar la estructura de un pavimento rígido de un proyecto real, ejecutado en el municipio de Sandoná (Nariño).

9.1. Diseño de un tramo de pavimento con el software BS-PCA.

Con la ayuda del software BS-PCA 1984 desarrollado por la Universidad del Cauca, cuya base es el método de diseño de pavimentos rígidos de la Portland Cement Association, se dimensionó los espesores de una losa de pavimento rígido bajo la incidencia de las variables de tránsito, módulo de rotura, módulo de reacción de la subrasante (k) y otros factores que influyen en la transferencia de la carga. Adicionalmente, el software permite conocer los factores de consumo de esfuerzo y erosión por cada espesor de pavimento calculado.

De las variables mencionadas, la resistencia a la flexión del concreto o módulo de rotura, incide en el resultado del espesor óptimo para la funcionalidad de la losa de pavimento constituido por cada tipo de mezcla del experimento, ya que los demás parámetros se mantienen constantes.

9.1.1. Datos de entrada para el PC. Para realizar el análisis económico de la utilización de agregados RCD en las mezclas tipo, con el software se determinan los espesores de acuerdo al cálculo de consumo de desgaste y erosión para un pavimento rígido, para el cual se tomaron los

parámetros de suelo de soporte y tránsito de un proyecto real, ubicado en el barrio San Francisco del municipio de Sandoná, Nariño.

De acuerdo al “Anexo 5 – Estudio de suelos Municipio de Sandoná”, el valor recomendado del Módulo de Reacción de la Subrasante o Resistencia del Apoyo, K es igual a 60 Mpa/m, dato obtenido mediante el ensayo de Penetrómetro dinámico de cono y cálculo de CBR como se observa en la tabla 10 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio.

Del “Anexo 6 - Estudio de Transito Pavimento Cra 4ta Municipio de Sandoná” se toma los datos de Transito promedio diario semanal (TPDS) actual de la vía y la composición vehicular, resultados indicados en tabla 11 del Anexo 1 - Ensayos de laboratorio.

Resistencia del Concreto. Esta variable de diseño está directamente ligada a los resultados obtenidos por el ensayo a flexión o módulo de rotura de los concretos elaborados con cada mezcla,

Mezcla tipo 1 – 100% agregado natural = 4.39 Mpa.

Mezcla tipo 2 – 25% agregado reciclado = 4.19 Mpa.

Mezcla tipo 3 – 50% agregado reciclado = 3.84 Mpa.

Mezcla tipo 4 – 25% agregado reciclado = 3.86 Mpa.

Mezcla tipo 5 – 25% agregado reciclado = 3.59 Mpa.

Condiciones de Apoyo Lateral. Teniendo en cuenta la condición más crítica y que el nivel de importancia de la vía a proyectar es bajo, se considera el diseño sin apoyo lateral.

Existencia o no de pasadores o Juntas Transversales. Para garantizar que la transmisión de cargas entre losas sea efectiva, se considera la existencia de pasadores.

Factor de Seguridad de Carga y Factor de Mayoración de Repeticiones =1. Teniendo en cuenta que el análisis se realizara para una calle ubicada en una zona residencial del municipio de Sandoná y que por lo tanto existe baja posibilidad del tránsito de camiones e incremento de cargas.

9.1.2. Análisis de datos por el software. Con el fin de obtener espesores de losa de pavimento óptimos a través del programa de diseño PCA, se realizan 6 iteraciones con los diferentes espesores por cada mezcla tipo y se analiza la variación en los consumos por fatiga y erosión. Cabe señalar que, un espesor de losa se considerará no adecuado, si cualquiera de los totales de los consumos por esfuerzo y erosión es mayor al 100%, por lo que se produciría la falla; requiriendo utilizar un espesor mayor para hacer otra iteración. En cambio, si los gastos de fatiga y erosión fueran mucho menores que 100%, será necesario utilizar un espesor menor para aumentar los consumos; y así seguir iterando hasta obtener un espesor de losa de concreto óptimo.

Con el fin de establecer un punto de comparación adecuado entre los resultados de espesores por cada tipo de mezcla, se consideró aquellos espesores con porcentajes cercanos al 80% en el consumo por esfuerzo, el cual nos indicara si las diferencias entre espesores obtenidos se reconocen pequeñas o no ante las condiciones reales de construcción. En la tabla 14, se indican los 6 espesores resultantes de las iteraciones realizadas con el software, calculados por cada valor de módulo de rotura obtenidos del ensayo de resistencia del concreto a flexión.

Tabla 14

Resultados de cálculo de espesores de losa de pavimento rígido y consumos de esfuerzo y erosión mediante software BS-PCA.

Tipo de mezcla	Módulo de rotura Mpa	Espesor de losa de pavimento mm	Consumo Esfuerzo %	Consumo Erosión %
Mezcla tipo 1-solo Agregado natural	4.39	170.00	101.05	78.40
		171.00	81.49	74.68
		171.08	80.06	74.40
		175.00	30.26	61.63
		176.00	22.73	58.78
		180.00	5.43	48.68
Mezcla tipo 2-25 % Agregado reciclado	4.19	176.00	99.76	58.77
		177.05	80.12	55.92
		178.00	65.04	53.47
		180.00	40.40	48.68
		183.00	17.52	42.34
		185.00	8.48	38.61
Mezcla tipo 3-50 % Agregado reciclado	3.84	188.00	94.83	33.65
		188.86	80.05	32.36
		190.00	63.24	30.73
		193.00	31.64	26.84
		195.00	18.50	24.54
		200.00	2.96	19.66

		188.00	82.21	33.65
		188.13	80.09	33.45
Mezcla tipo 4-75 % Agregado reciclado	3.86	190.00	53.94	30.73
		193.00	26.10	26.84
		195.00	14.81	24.54
		200.00	1.83	19.66
		198.00	89.40	21.47
		198.59	80.00	20.92
Mezcla tipo 5-100 % Agregado reciclado	3.59	200.00	60.60	19.66
		202.00	39.47	18.00
		205.00	18.82	15.78
		210.00	3.18	12.68

El consumo por erosión por el cual se pretende limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas, y así controlar la erosión de la fundación, indica independiente al consumo por esfuerzo que a mayor espesor de losa de pavimento su desgaste será menor. Para los análisis que se presentan a continuación se redondea los resultados de los espesores al mm inferior, esto teniendo en cuenta que constructivamente es difícil alcanzar precisión menor al milímetro.

Con los espesores cuyo porcentaje de consumo por erosión fue próximo al 80%; por cada tipo de mezcla se realizó la figura 15, la cual muestra que a menor resistencia a la flexión o menor módulo de rotura, se necesitará un mayor espesor de la losa de pavimento, es decir la mezcla tipo 1 compuesto por agregado grueso 100% natural arroja que el espesor para la funcionalidad óptima de la losa de pavimento es cercano a los 17 cm, contrario a la mezcla tipo 5 compuesta por agregados grueso 100% reciclable, que indica que el espesor óptimo para la losa de pavimento sería cercano a los 20 cm.

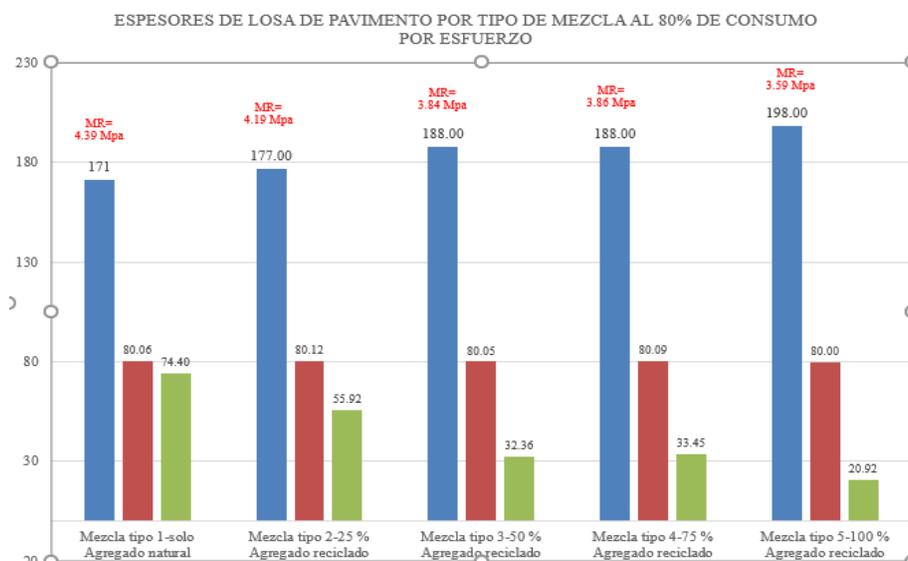


Figura 15

Comparación entre resultados de espesores y consumo por erosión por tipo de mezcla al 80% de consumo por esfuerzo.

9.1.3. Análisis Económico

Análisis mediante el software HDM4. Con la aplicación de la herramienta HDM4 se pretendía comparar los mejoramientos de la vía, bajo los diferentes espesores de pavimento rígido, teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos y ambientales del proyecto, evaluando los resultados mediante la tasa interna de retorno TRM, y otras especificaciones técnicas y ambientales que derivan del software.

Después de realizar el análisis en el software por cada espesor de pavimento y comparándolos entre sí, se pudo determinar que el programa carece de sensibilidad ante variaciones mínimas de espesores, que no es posible comparar la factibilidad económica entre dos mejoras con pavimento, sino su comportamiento técnico referido al desgaste del pavimento, resultando que no existen diferencias sustanciales entre los diseños de pavimento; por lo tanto, no se justificó evaluar mediante esta herramienta nuestro estudio. De acuerdo con lo anterior y ante la imposibilidad de la aplicación del programa HDM4, se llevó a cabo un análisis económico y ambiental basado en experiencias de la ingeniería, donde se pueden obtener resultados que permiten evaluar la viabilidad de la intervención de un pavimento utilizando agregados RCD.

Análisis económico basado en otro estudio y nuestra experiencia. Cupacan y Pantoja, (2010) en su estudio: “Evaluación Técnica y Económica del Concreto no Convencional Fabricado a partir de Agregados Provenientes del Reciclaje de Escombros de Concreto. Fase III: Reciclaje de materiales de demolición” analizaron el costo de producción de agregado no convencional o RCD en el departamento de Nariño, teniendo en cuenta los siguientes procesos: selección de la estructura a demoler de donde proviene el RCD, ingreso del material a la planta de producción para acopio, reducción de sobre tamaños, separación de aceros de refuerzo y otros materiales perjudiciales presentes en los escombros, trituración primaria y secundaria, tamizaje en zarandas de acuerdo con los tamaños requeridos, transporte en bandas y acopio final.

De esta manera, establecen un precio total por metro cubico del agregado RCD para una granulometría específica como se indica en la Tabla 15. Cabe aclarar que el análisis unitario obtenido por la investigación de referencia fue realizado a los precios vigentes del año 2010.

Tabla 15

Análisis de precios unitarios para la producción de m³ de agregado reciclado.

Análisis de precios unitarios				
Agregado reciclado				
Descripción: agregado reciclado dosificación ideal			und: m³	
Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Agregado reciclado de 1 1/2" - 1"	%	18.72	13885.96	2599.10
Agregado reciclado de 1" - 3/4"	%	33.31	13885.96	4625.07
Agregado reciclado de 3/4" - 1/2"	%	24.11	18453.56	4448.69
Agregado reciclado de 1/2" - No.4	%	23.87	18453.56	4404.41
			Subtotal	16077.27
			A.U.I 20%	3215.45
			Total	19292.72

Nota. Adaptado de *Análisis de precios unitarios para la producción de 1m³ de agregado reciclado*, Cupacan y Pantoja, 2010.

Con el objeto de establecer una comparación entre las mezclas de concreto con agregado convencional y con agregado reciclado, para la fecha de estudio, Cupacan y Pantoja, (2010) utilizaron los precios de materiales indicados en la tabla 16.

Tabla 16

Precios unitarios de materiales para producción de mezclas de concreto.

Material	Unidad	Pesos m/cte
Agua	lt	50
Cemento	bulto (50kg)	20259
Arena	m ³	22845
Triturado Natural 1 1/2"	m ³	30172
Triturado reciclado 1 1/2"	m ³	19293

Fuente: *Precios unitarios de materiales para producción de mezclas de concreto*, Cupacan y Pantoja, 2010.

Como se observa en los resultados del estudio mencionado, al comparar el precio de la producción de un agregado no convencional frente a la producción de un agregado natural, es menor en un 36%, es decir es más económica la producción del agregado reciclado; este porcentaje permite estimar un precio actual del agregado reciclado a partir del precio en el mercado del agregado natural. Los precios para los materiales se actualizaron con valores de referencia de insumos y actividades de obra correspondiente al periodo 2020-1 del mercado en Nariño del Instituto Nacional de Vías, (ver Anexo 7 – Precio materiales APUS Nariño 2020-1 INVIAS) y teniendo en cuenta la relación porcentual obtenida del estudio de Cupacan y Pantoja (2010), se determinó el precio unitario actual del agregado RCD, como se indica en la tabla 17.

Tabla 17

Precios unitarios de materiales para producción de mezclas de concreto.

Material	Unidad	Pesos m/cte
Agua	lt	44
Cemento	kg	561
Arena	m ³	47087
Triturado Natural 1 1/2"	m ³	62477
Triturado reciclado 1 1/2"	m ³	39985

Nota. Instituto Nacional de Vías para la publicación de los precios de referencia de insumos y actividades de obra correspondiente al periodo 2020-1, territorial Nariño.

Con los precios proyectados en la tabla 20, se estable un análisis frente a la producción de las mezclas tipo del presente estudio; para ello se indica que se toman los espesores de losas obtenidos para el diseño de pavimento mediante el software, redondeando la medida al milímetro.

A partir de los espesores de losa de pavimento por cada tipo de mezcla, se calcula las cantidades de material, entre ellos agua, cemento, agregados gruesos, naturales y RCD, y agregados finos para obtener los costos totales por metro cuadrado de pavimento y posteriormente por m³ de mezcla, tal como se puede observar la Tabla 18.

Debido a que la variable Modulo de rotura, incide directamente en el cálculo del espesor de la losa rígida de un pavimento y que por lo tanto al variar esta dimensión, el volumen de las mezclas de concreto por m² también varía, los costos de producción inevitablemente se incrementan por unidad de medida en área como se observa en la tabla 21; es decir, se puede deducir que la conveniencia económica de utilizar RCD en la mezcla para losa de pavimentos rígidos es provechoso siempre y cuando se considera la disminución del impacto ambiental generado en fuentes y predios por el depósito final de residuos de concreto, se explotarían menos canteras como fuente de materias vírgenes y poder de esta manera conservar el medio ambiente.

Tabla 18

Comparación de costos de producción de una mezcla de concreto para m² de pavimento rígido con variación de espesor de acuerdo con el diseño por BS-PCA para cada mezcla.

Materiales		Mezcla tipo 1- solo Agregado natural	Mezcla tipo 2- 25 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 3- 50 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 4- 75 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 5- 100 % Agregado reciclado
Espesor de losa de pavimento	mm	171.000	177.000	188.000	188.000	198.000
Volumen losa de pavimento	m3/m2	0.171	0.177	0.188	0.188	0.198
Cantidad de Cemento	kg	63.863	66.104	70.212	70.212	73.947
Costo	\$	35827	37084	39389	39389	41484
Cantidad de agua	lt	31.293	32.391	34.404	34.404	36.234
Costo	\$	1377	1425	1514	1514	1594
Cantidad de agregado grueso convencional	m3/m2	0.056	0.043	0.031	0.015	0.000
Costo	\$	3474	2697	1910	955	0
Cantidad de agregado grueso RCD	m3/m2	0.000	0.014	0.031	0.046	0.064
Costo	\$	0	575	1222	1833	2575
Cantidad de agregado fino	m3/m2	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
Costo	\$	2835	2935	3117	3117	3283

Costo de producción por espesor de losa de pavimento/m ²	\$/m ²	42137	43292	45639	45295	47342
Costo de producción por tipo de mezcla/m ³	\$/m ³	246415	244587	242758	240930	239101

Sin embargo, el pavimento rígido con agregado reciclado no solo implica un costo de mezcla por m² mayor, sino que también al tener mayores espesores de losa de pavimento se debe considerar el incremento en el costo de actividades complementarias y necesarias en su construcción, tales como excavaciones, refuerzo, formaletas y mano de obra.

Por otro lado, cómo se puede observar, los valores de producción por unidad de volumen de una mezcla de concreto compuesto de agregado grueso 100% natural con respecto a una mezcla de concreto compuesto de agregado grueso 100% RCD, difiere en un 3%, siendo la mezcla tipo 5 más económica.

10. Análisis del impacto ambiental con respecto a la utilización de RCD.

Como menciona Bedoya, C. (2016, p. 66) en su estudio denominado “El Concreto con Agregados Reciclados (CAR) como proyecto de viabilidad para el ecosistema urbano de Medellín, Colombia”, la política pública y los incentivos tributarios para los constructores y aquellas entidades que desean implementar los RCD (Residuos producto de construcción y demolición) y producción de los CAR (Concretos con Agregados Reciclados) se encuentran en cuestión de su implementación como hecho vinculante, sin embargo los estudios e investigaciones se siguen desarrollando con el objetivo de buscar la viabilidad del uso de RCD bajo el respaldo de las políticas públicas y con proyección al cuidado del ecosistema y medio ambiente colombiano. En la generación de concretos con agregado reciclado en los que la materia prima a cambiar son los agregados gruesos naturales por RCD se debe realizar un análisis de la obtención de los agregados reciclados para determinar el impacto ambiental al compararlo con la producción de un agregado convencional y por lo tanto de concretos convencionales.

Siguiendo la metodología de Bedoya, aplicando al ejemplo propuesto para el análisis de costos de producción de agregados reciclados en la construcción de losas de pavimento, se complementa el análisis con el estudio del aporte de la utilización de RCD al medio ambiente mediante consumos energéticos y producción de dióxido de carbono (CO₂). Bedoya cita como valores base, las tablas generadas por el profesor Alejandro Salazar Jaramillo y su equipo para el gobierno colombiano (UPME; 2012), en las cuales se presenta el consumo energético en (MJ/t) y emisión de CO₂ (t-CO₂/t) por materia prima necesaria para realizar una mezcla de concreto con agregado convencional y también agregado RCD.

Las tablas 19 y 20 contienen los valores base mencionados con los cuales se hace el análisis de consumo energético y emisión de CO₂ para la fabricación de un m² de losa de pavimento para las diferentes mezclas tipo del estudio.

Tabla 19

Consumo de energía y emisiones de CO₂ de materiales de construcción.

Material (CV)	Consumo energético (MJ/t)	Emisión de CO₂ (t-CO₂/t)
Agregados gruesos	177.2	0.0098
Agregados finos	494.6	0.0213
Cemento vía húmeda	11062	1.1848

Nota. Tomado de *Consumo de energía y emisiones de CO₂ de materiales*, Bedoya, 2016.

Tabla 20

Consumo de energía y emisiones de CO₂ de RCD.

Material (CAR)	Consumo energético (MJ/t)	Emisión de CO₂ (t-CO₂/t)
Agregados gruesos reciclados	13.0	0.001
Agregados finos reciclados	13.0	0.001
Cemento vía húmeda	11062.0	1.1848

Nota. Tomado de *Consumo de energía y emisiones de CO₂ de RCD*, Bedoya, 2016.

Se utiliza la cantidad de m³ por m² de losa de pavimento para el cálculo de cantidad de cada material y se determina el consumo energético y emisión de CO₂, como se ve en la tabla 24.

Tabla 21

Cálculos de consumo de energía y emisiones de CO2 para las mezclas tipo por m².

Materiales		Mezcla tipo 1- solo Agregado natural	Mezcla tipo 2- 25 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 3- 50 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 4- 75 % Agregado reciclado	Mezcla tipo 5- 100 % Agregado reciclado
Espesor de losa de pavimento	mm	171.000	177.000	188.000	188.000	198.000
Volumen losa de pavimento	m3/m2	0.171	0.177	0.188	0.188	0.198
Cantidad de Cemento	Ton	0.064	0.066	0.070	0.070	0.074
Consumo energético	(MJ)	706.455	731.243	776.688	776.688	818.001
Emisión de CO2	(t-CO2)	0.0757	0.0783	0.0832	0.0832	0.0876
Cantidad de agregado grueso convencional	Ton	0.139	0.108	0.076	0.038	0.000
Consumo energético	(MJ)	24.624	19.116	13.536	6.768	0.000
Emisión de CO2	(t-CO2)	0.0014	0.0011	0.0007	0.0004	0.0000
Cantidad de agregado grueso RCD	Ton	0.000	0.036	0.076	0.115	0.161
Consumo energético	(MJ)	0.000	0.467	0.993	1.490	2.092
Emisión de CO2	(t-CO2)	0.00000	0.00004	0.00008	0.00011	0.00016
Cantidad de agregado fino	Ton	0.151	0.156	0.166	0.166	0.174
Consumo energético	(MJ)	74.459	77.072	81.862	81.862	86.216
Emisión de CO2	(t-CO2)	0.00321	0.00332	0.00353	0.00353	0.00371
Consumo energético/m2	(MJ)	805.539	827.899	873.079	866.807	906.309
Emisión de CO2/m2	(t-CO2)	0.080	0.083	0.088	0.087	0.091

En las figuras 16 y 17 se puede evidenciar que al requerirse mayores espesores de losa de pavimento los consumos energéticos y emisión de CO2 son mayores; es decir que, de acuerdo con el presente estudio, en la utilización de mayor cantidad de agregados RCD, se genera mayor desgaste energético y mayor producción de CO2, directamente negativos para el medio ambiente.

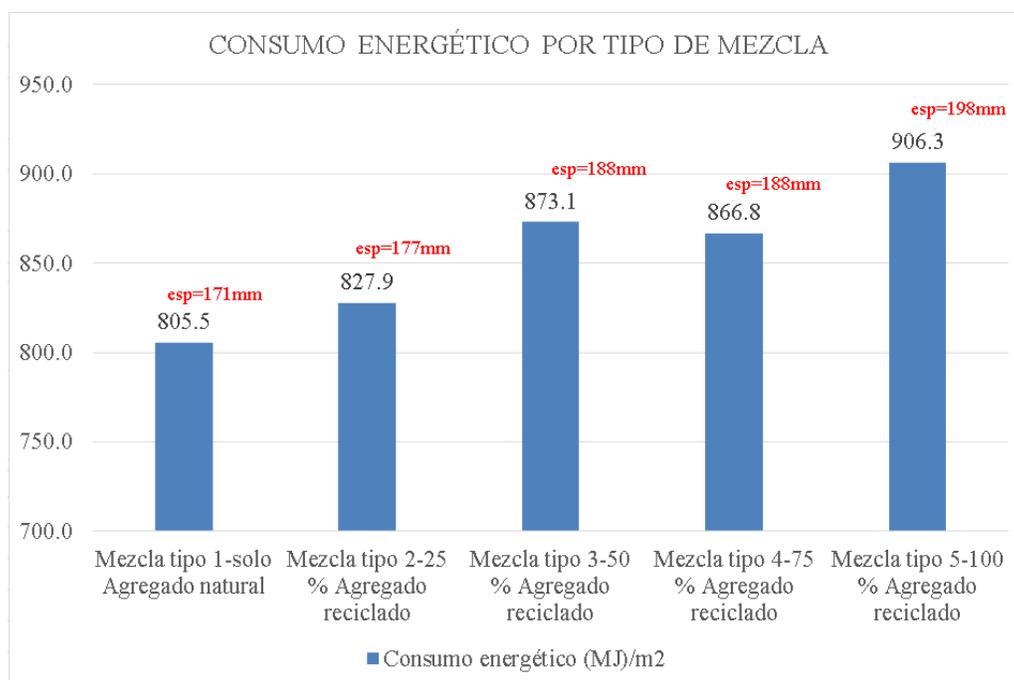


Figura 16

Cálculo de consumo energético por m² de losa de pavimento por mezcla tipo.

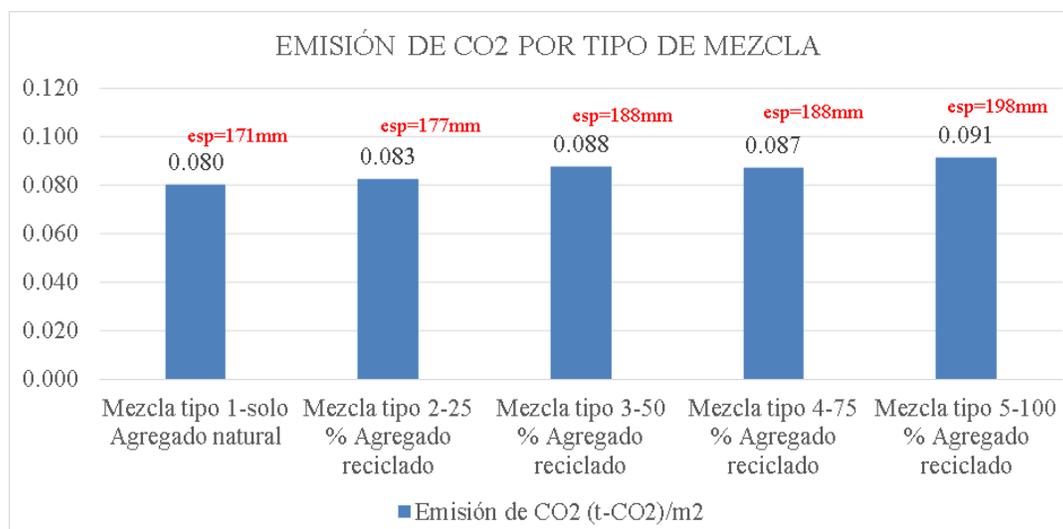


Figura 17

Cálculo de emisión de CO₂ por m² de losa de pavimento por mezcla tipo.

Nuevamente, se realizó un análisis mediante la herramienta estadística de varianzas denominada ANOVA y prueba de Tuckey (ver Anexo 4 – Análisis estadístico ANOVA), por la cual se identificó que tanto los consumos energéticos, como las emisiones de CO₂ entre mezclas

presentan diferencias significativas; es decir, utilizar uno u otro tipo de mezclas si influye en la generación de mayor o menor medida de estos índices de contaminación.

Por observación, se puede deducir que al presentarse diferencias entre los resultados se asocie una u otra mezcla, por la cantidad de la magnitud que representa y las unidades de medida utilizadas (MJ, ton-CO₂), estas diferencias son representativas.

Bajo la evaluación de los parámetros ambientales considerados por Bedoya (consumo energético y emisión de CO₂), se podría indicar que no son favorables para la utilización de agregados reciclados. Sin embargo, teniendo en cuenta la cantidad de escombros de construcción y demolición generados por año en el país, se puede considerar la utilización de RCD como un aporte a la solución de su disposición y afectación del paisaje y entornos naturales.

11. Incentivos y políticas públicas para la utilización de RCD

Las políticas públicas nacionales para la utilización de los RCD se enmarcan principalmente en la resolución 0472 de 2017 (MADS, 2017) como se mencionó en el marco conceptual del presente estudio; sin embargo, aunque el objetivo principal de esta resolución es reglamentar la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición, aun no se cuenta con un desarrollo riguroso relacionado con sanciones por inadecuado vertimiento de estos residuos, ni incentivos para su reutilización, tal como lo indica la exposición de motivos de la propuesta de la Ley promotora de la Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición en Colombia de agosto de 2018 y Rosales (2018) en su artículo denominado “Manejo adecuado de los escombros en los municipios: vacíos normativos en la regulación”. Al día de hoy es tarea de los entes territoriales gestionar e implementar planes de manejo integral de escombros en cumplimiento a esta resolución.

En el Anexo 8 – Aplicación de incentivos para la utilización de RCD, se describe cómo a nivel nacional, en la ciudad de Medellín, se ha implementado la generación de incentivos económicos por la utilización de RCD, y de igual manera se expone los avances desarrollados en el tema a nivel internacional, resaltando una interesante estrategia para la regulación de la tasa por

recogida de escombros, ejecutada en la ciudad de Huelva, España, la cual consiste en un sistema de cupones otorgados en cada uno de los procesos de la generación y gestión de residuos de la construcción y que según su clasificación al finalizar el proceso le puede generar una ayuda económica al productor de escombros en la obligación del pago de la tasa legal de vertimiento.

11.1. Propuesta para aplicación de incentivos para la utilización de RCD

En el presente informe se propone la aplicación de incentivos planteando un proceso de regulación de tasa por recogida de escombros similar a la aplicada en la ciudad de Huelva, España; de esta manera se analiza como el proceso puede motivar a que los productores de RCD de la región, se involucren en el reciclaje de materiales de construcción, una vez encuentren beneficios en la disminución de pagos legales por transporte y vertimiento de estos en las escombreras autorizadas por los municipios.

En el Anexo 8 – Aplicación de incentivos para la utilización de RCD, se puede apreciar el proceso planteado para implementar la aplicación de incentivos legales por la utilización de RCD, basados el proceso de gestión de residuos usado en Huelva. Como resultado de realizar el proceso, se podría tener una retribución hasta del 64% de la tasa o valor por m³ de material de residuos generados en una obra.

Así entonces, aunque para que la estrategia sea aplicada y adaptada a la región, se deben implementar inicialmente políticas que permitan el desarrollo efectivo de buen vertimiento de residuos de construcción, permitan tener una concepción de como los incentivos en el manejo de residuos de construcción pueden generar retribución económica a los productores de los mismos que motiven y contribuyan no solo a nivel económico sino por el bienestar de nuestro medio ambiente.

Conclusiones

Los agregados productos del reciclaje de concretos demolidos poseen densidades relativamente bajas, hasta un 20% menores a las densidades de los agregados naturales o convencionales, pero así mismo poseen un mayor porcentaje de absorción con respecto a los agregados naturales, casi 4 veces mayor. Por lo tanto, los RCD al poseer una mayor porosidad influirán directamente en la absorción del agua de mezclado y en la necesidad de mayor hidratación inicial, durante el curado del concreto formado con estos.

El alto grado de absorción, la textura y la forma del agregado reciclado influyen notablemente en la consistencia y manejabilidad de la mezcla, teniendo en cuenta su alto grado de caras fracturadas, lo que hace que las partículas tengan mayor fricción y trabazón entre sí y sumado a esto que el agua de mezclado en gran parte es absorbida inicialmente, generando asentamientos menores con respecto a las mezclas elaboradas con agregados convencionales, lo cual se pudo verificar con el ensayo del “slump”.

En el proceso experimental se mantuvo constante la relación A/C, teniendo en cuenta las características de porosidad y forma del agregado RCD, se puede concluir que el agua incide de gran manera en la resistencia final, ya que como se observa en las figuras 29 y 30, se obtiene mayor resistencia en los últimos días, posiblemente por la reacción del agua con las partículas internas de cemento del agregado reciclado.

Los concretos compuestos hasta con un 75% con agregado RCD en su porción de agregado grueso, alcanzan resistencias optimas cercanas a las especificadas o requeridas por diseño de acuerdo con la norma INVIAS-13, es decir que es posible utilizar estos concretos para la construcción de elementos que requieran resistencias a la compresión de 21 Mpa y módulos de rotura de 3.8 Mpa; teniendo en cuenta las especificaciones colombianas, podrían ser utilizados en la construcción de pavimentos para tránsitos tipo NT1.

Si se desea producir concretos con más del 75% de agregado reciclado en su composición de agregado grueso y que alcancen resistencias cercanas a las especificadas, es necesario ajustar

las mezclas en sus proporciones de arena, cemento o agua según lo requiera, es decir con un mayor costo de producción. Por otro lado, para lograr mejores resultados de resistencia para la mezcla tipo 5, se recomienda un proceso de pre-saturado del agregado reciclado, ya que como se evidencio en sus características físicas, poseen un alto grado de absorción que influye directamente en la resistencia de los concretos producidos.

De acuerdo con el análisis económico realizado en el presente estudio, las propiedades mecánicas de cada mezcla elaborada con porcentajes diferentes de agregado grueso RCD son las que inciden en el costo final de su utilización; es decir que producir un metro cubico de concreto con agregado convencional, puede ser levemente más costoso que producir un metro cubico de concreto con agregado RCD, sin embargo para diseñar estructuras de pavimento con estas mezclas, son las propiedades mecánicas (erosión y desgaste) las que inciden en los espesores finales obtenidos mediante el software PCA, resultando volúmenes mayores y por lo tanto, incrementando los costos totales de su utilización. Lo anterior implica más cantidades de actividades complementarias como excavación, formaleta y desalojo, generando incremento en los costos con respecto a la utilización de una mezcla con agregado convencional.

Producir mezclas de concreto RCD con un buen comportamiento mecánico, para losas de pavimentos rígidos, de acuerdo con los resultados del presente estudio y como referencias de otras tesis, implica la utilización de mayores componentes de la mezcla como es el cemento, generando un mayor impacto ambiental, debido a su gran consumo energético y emisión de CO₂.

El análisis mediante la herramienta estadística de varianzas denominada ANOVA y prueba de Tuckey (Anexo 2 – Análisis Estadístico ANOVA), identificó que tanto los consumos energéticos, como las emisiones de CO₂ entre mezclas presentan diferencias significativas, es decir utilizar una u otro tipo de mezclas si influye en la generación de mayor o menor medida de estos índices de contaminación. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos y a la disponibilidad de agregados RCD se debe seleccionar correctamente la mezcla de concreto y la proporción de agregado RCD a utilizar, pensando en las consecuencias ambientales y económicas.

La elaboración de productos de construcción a partir de agregados reciclados, es una buena estrategia para reducir la explotación de recursos naturales, al igual que ayuda a la conservación de fuentes hídricas y preservación del medio ambiente; sin embargo, debido a que las políticas que enmarcan los procesos de sostenibilidad en Colombia no generan un respaldo e incentivos para que los constructores puedan desarrollar estas prácticas y sumado a ello, los altos costos que implica emprenderlas, la producción de agregados reciclados se ha visto estancada a nivel regional y nacional.

Por otro lado, como se puede confrontar con los antecedentes de otras investigaciones centradas en el tema, los resultados de las propiedades de los agregados reciclados difieren según su origen, es decir que para aplicar lo registrado en el presente documento, debe realizarse un análisis detallado de estas características de materiales empleados.

De acuerdo al presente estudio, el costo de producción de agregado RCD es más económico que la producción de agregados convencionales, sin embargo, para la construcción de un pavimento en concreto rígido, debido a que la resistencia a la flexión (M_r) es inversamente proporcional al porcentaje de agregado RCD en las mezclas de concreto, se obtienen mayores espesores en el diseño de las losas para pavimento, por lo tanto, los costos de producción se incrementan por unidad de área.

De acuerdo con el análisis económico y de impacto ambiental que se ha realizado en el presente estudio, los procesos para la utilización de RCD tienen bastantes implicaciones que se han venido desarrollando a nivel internacional, pero que, en países como Colombia, no han permitido un amplio desarrollo, contrario a los países europeos donde cuentan con una política pública nacional para generar incentivos que promuevan la gestión de RCD. Consolidar un proceso que permita una adecuada gestión de reciclaje y disposición de residuos de construcción, como la propuesta del capítulo 12, implica la instauración de estrictas políticas ambientales que además promuevan incentivos económicos y sociales sobre la producción de RCD.

Recomendaciones

Para la producción de concretos con agregado RCD es importante tener en cuenta el alto grado de absorción que se genera por estos componentes, lo que disminuye la manejabilidad de las mezclas, aumenta tiempo de mezclado e incrementa la cantidad de agua de elaboración, factores que inciden directamente en los costos de fabricación de estos concretos.

Aunque los concretos compuestos hasta con un 75% por agregado RCD en su porción de agregado grueso alcanzan resistencias optimas cercanas a las especificadas o requeridas; se debe tener en cuenta que este tipo de concretos a edades tempranas alcanzan bajas resistencias bajo un proceso de curado ideal de laboratorio, es decir, que para aplicaciones de la construcción en condiciones reales, se debe tener un control estricto en el proceso de curado, para que se alcancen las resistencias mínimas especificadas.

Recomendamos analizar las resistencias obtenidas con un curado mayor a 28 días, dado que en el agregado RCD, por su alta porosidad, posiblemente se activen las partículas internas de cemento, generando ganancia en la resistencia final del concreto. De igual manera se sugiere realizar ensayos de resistencia variando la relación A/C de las mezclas de concreto producido.

En cuanto a la progresión del curado en el tiempo, para los especímenes de concreto, se recomienda realizar análisis mediante corte de muestras endurecidas, para visualizar de esta manera el avance de la hidratación interna en los cuerpos de dichos especímenes.

Los resultados del análisis de otros estudios y del presente indican que es importante iniciar en las regiones procesos adecuados de gestión de residuos de la construcción y demolición, que no solamente impliquen penalizaciones en vertimientos no autorizados por las entidades públicas encargadas, sino que también generen incentivos económicos y sociales que permitan un amplio uso de los RCD en nuevos productos.

Se recomienda continuar con estudios con los que se pueda lograr una compensación adecuada y equilibrada entre un aspecto financiero y ambiental viable y sostenible, con el objetivo

de demostrar que, implementando políticas públicas que generen incentivos por la gestión del ciclo de RCD, se obtendrán mejores resultados de factibilidad económica y de disminución del impacto al medio ambiente.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de residuos de construcción que son depositados diariamente en predios de acopio desde hace muchos años atrás, sin reglamentación alguna, creemos que es apremiante que en Colombia se adelanten acciones encaminadas a la implementación de políticas públicas que regulen la gestión de los RCD, con el fin de preservar las condiciones de paisajismo de nuestro entorno y del medio ambiente en general.

Finalmente es importante mencionar que este estudio al igual que otros, demuestran que la reutilización de RCD en una mezcla de concreto hidráulico proporciona buenos resultados; en consecuencia, se espera que los mismos puedan ser funcionales de manera satisfactoria en la composición de otros productos con menores especificaciones, como lo son las bases y subbases granulares y los elementos prefabricados de concreto (adoquines, bordillos, etc.); de manera que, recomendamos estudiar el uso de RCD en estos productos, considerando que su aplicación puede generar un beneficio conjunto entre el sector de la construcción y el medio ambiente.

Bibliografía

Alcaldía de Pasto. (2015). Actualización Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos.

Anselmi, M., García, O., & Polo, R. (2019). Propiedades mecánicas del concreto fabricado con agregados reciclados extraídos de escombros de mampuestos de arcilla cocida Mechanical properties of concrete made with recycled aggregates extracted from debris of baked clay masonry Contenido.

Armijos, J. (2019). Caracterización de Residuos de Construcción en Sistemas Industrializados para Viviendas de Interés Social, en la Ciudad de Santiago de Cali. [Tesis maestría, Pontificia universidad Javeriana de Cali]. http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/12383/Analisis_generaci%C3%B3n_residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Benavidez C.; Solano E; & García, M. (1984). Herramienta de Software para Diseño de Pavimentos Rígidos Bs-PCA.

<http://artemisa.unicauca.edu.co/~sicolpav/PonenciasPDF/BSPCAEfrain.PDF>

Cardona, R., & López, K. (2016). *Caracterización de un Agregado Reciclado de Concreto (Arc) para la Construcción de la Carpeta Asfáltica de Pavimentos Flexibles*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana Cali]. <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/7701>

Cortes, C. (2005). Metodología para la selección de alternativas de conservación de carreteras, usando el modelo HDM-4. [Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México].

Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia. Bogotá, D.C: Departamento Nacional de planeación. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. 21 de noviembre de 2016.

Cruz, J. A., & Velázquez, R. (2004). Concreto Reciclado. [Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y arquitectura]. https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4860/1/284_CONCRETO%20RECICLADO.pdf

García, C., Saval, J., Baeza, F., Tenza, A. (2008). Prácticas de Materiales de Construcción año 2008- 2009. [Universidad de Alicante]. <http://hdl.handle.net/10045/10998>

INV. E-213. Manual de normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Instituto nacional de vías, sección 200 – Agregados Pétreos. 2012.

INV. E-410. Manual de normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. 2012. Invias.

INV. E-403-13. Manual de normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. 2012. Invias.

Cupacán, D. J., & Pantoja, J. C. (2010). *Evaluación Técnica y Económica del Concreto no Convencional Fabricado a partir de Agregados Provenientes del Reciclaje de Escombros de Concreto. Fase III: Reciclaje de materiales de demolición*. [Universidad de Nariño]. http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf

Marín, J. (2019). *Análisis de la Generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en un Proyecto Institucional: Estudio de Caso*. [Tesis maestría, Pontificia universidad Javeriana de Cali]. <http://hdl.handle.net/11522/12383>

Martin, M. (2013) El residuo de construcción y demolición (RCD) como árido en la elaboración de prefabricados no estructurales. [Tesis doctoral, Universidad de Granada] <http://hdl.handle.net/10481/29814>

Montiel, J. (2017) Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales. [Tesis maestría]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12875>

Norma Técnica Colombiana NTC 174. Concretos, Especificaciones de los agregados para concretos. 21 de junio del 2000.

Resolución 0472 de 2007. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición -RCD y se dictan otras disposiciones. 28 de febrero de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Rosales, Y. (2018). Manejo adecuado de los escombros en los municipios: vacíos normativos en la regulación. [Tesis de especialización, Universidad de San Buenaventura]. http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/5707/1/Manejo_Adecuado_Escombros_Rosales_2018.pdf

Sánchez, D. (2000). *Tecnología Del Concreto Y Del Mortero*. Pontificia Universidad Javeriana.

Vásquez, A., Botero, L., & Carvajal, D. (2014). *Fabricación de bloques de tierra*. Universidad EAFIT.

Anexos

Anexo 1:

Ensayos de Laboratorio

Lista de Tablas

Tabla 1. Resultados masas unitarias de agregados.	3
Tabla 2. Resultados peso específico y absorción de agregados.....	3
Tabla 3. Análisis granulométrico agregado fino convencional (arena).....	4
Tabla 4. Análisis granulométrico agregado grueso convencional(triturado).....	4
Tabla 5. Análisis granulométrico agregado grueso reciclado.....	5
Tabla 6. Nivel de confianza (Z).....	5
Tabla 7. Factor de modificación para desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	5
Tabla 8. Determinación del tamaño de la muestra.	6
Tabla 9. Plazo para ensayar los especímenes luego del curado.....	6
Tabla 10. Resultados de CBR y módulo de reacción, tomado del estudio de suelos para la vía carrera cuarta entre intersección con vía circunvalar y calle cuarta, en el municipio de Sandoná - Nariño.	7
Tabla 11. Análisis para el carril de diseño, tomado del estudio de tránsito para la vía carrera cuarta entre intersección con vía circunvalar y calle cuarta, en el municipio de Sandoná - Nariño.	7

Tabla 1 Resultados masas unitarias de agregados.

Masa unitaria suelta INV. E-217			
Característica	Agregado grueso reciclado	Agregado grueso natural	Agregado fino natural
Cantidad de ensayos	4	4	4
Peso promedio (gr)	10346.25	10590	3337.5
Volumen del molde (cm³)	8000	8000	2132.7
Masa unitaria suelta (gr/cm³)	1.29	1.32	1.56

Masa unitaria compacta INV. E-217			
Característica	Agregado grueso reciclado	Agregado grueso natural	Agregado fino natural
Cantidad de ensayos	4	4	4
Peso promedio (gr)	11496.75	11287.5	3632.5
Volumen del molde (cm³)	8000	8000	2132.7
Masa unitaria compacta (gr/cm³)	1.44	1.41	1.70

Tabla 2 Resultados peso específico y absorción de agregados.

Característica	Agregado grueso reciclado	Agregado grueso natural	Agregado fino natural
Cantidad de ensayos	3	3	4
Densidad relativa SH	2.02	2.51	2.51
Densidad relativa aparente	2.64	2.68	2.9
Densidad relativa SSS	2.26	2.57	2.64
Absorción %	11.67	2.65	5.45

* Los resultados son de ponderados promedios de los ensayos

Nota. SH: Seca al horno, SSS: Saturada y superficialmente seca.

Tabla 3 Análisis granulométrico agregado fino convencional (arena).

Análisis De Granulometría - Arena. Método INV. E-213-13						
Tamiz		Retenido Acumulado		PASA	Especificación	
No	mm	gr	%	%	INV. ART 500	
3/8"	9.51			100.0%	100%	100%
No 4	4.76	178.7	3.4%	96.6%	95%	100%
No 8	2.36	1291.1	24.5%	75.5%	80%	100%
No 16	1.18	2327.3	44.2%	55.8%	50%	85%
No 30	0.60	3142.9	59.6%	40.4%	25%	60%
No 50	0.30	3746.3	71.1%	28.9%	10%	30%
No 100	0.15	4184.1	79.4%	20.6%	2%	10%
Fondo		5269.5	100.0%			

Nota. Adaptado de resultados granulometría este estudio, lineamientos INV. E-213-13.

Tabla 4 Análisis granulométrico agregado grueso convencional(triturado).

Análisis de granulometría - Triturado INV. E-213-13						
Tamiz		Retenido Acumulado		Pasa	Especificación	
No	mm	gr	%	%	INV. ART 500	
2"	50.80			100.0%		
1 1/2"	38.10			100.0%		
1"	25.40	14.5	0.4%	99.6%	100%	100%
3/4"	19.00	385	10.9%	89.1%	90%	100%
1/2"	12.70	809	23.0%	77.0%		
3/8"	9.51	1920	54.5%	45.5%	20%	55%
No 4	4.76	2548	72.3%	27.7%	0%	10%
No 8	2.36	3416	97.0%	3.0%	0%	5%
Fondo		3523	100.0%			

Nota. Adaptado Análisis granulométrico agregado grueso convencional, Invias.

Tabla 5 Análisis granulométrico agregado grueso reciclado.

Análisis De Granulometría - Agregado RCD INV. E-213-13						
Tamiz		Retenido Acumulado		Pasa	Especificación	
No	mm	gr	%	%	INV. ART 500	
1"	25.40			100.0%	100%	100%
3/4"	19.00	4605	61.8%	38.2%	90%	100%
1/2"	12.70	6625	88.9%	11.1%		
3/8"	9.51	6944.5	93.2%	6.8%	20%	55%
No 4	4.76	7247.5	97.2%	2.8%	0%	10%
No 8	2.36	7352	98.6%	1.4%	0%	5%
No 16	1.18	7389	99.1%	0.9%		
No 30	0.60	7403.5	99.3%	0.7%		
No 50	0.30	7420.5	99.5%	0.5%		
No 100	0.15	7433.5	99.7%	0.3%		
Fondo		7454.5	100.0%			

Nota. Adaptado de *Lineamientos INV. E-213-13, INVIAS*.

Tabla 6 Nivel de confianza (Z).

Nivel de confianza	99.73%	99.00%	98.00%	96.00%	95.45%	95.00%	90.00%	80.00%	68.27%
Valores de Z	3.00	2.58	2.33	2.05	2.00	1.96	1.65	1.28	1.00

Nota. Adaptado de Nivel de Confianza, Machado, Estadística II.

Tabla 7 Factor de modificación para desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.

Número de ensayos*	Factor modificación para la desviación estándar de la muestra †
Menos de 15	Emplee la tabla C.5 3.2.2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

*Interpolar para un número de ensayos intermedios

Desviación estándar de la muestra, Ss., para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida F'cr de C.5.3.2.1

Nota. Tomada de *modificación de desviación estándar*, NSR10, Capítulo C.5, Tabla C.5.3.1.2.

Tabla 8 Determinación del tamaño de la muestra.

Nivel de confianza	99.7%	99.0%	98.0%	96.0%	95.5%	95.0%	90.0%	80.0%	68.3%
Valores de Z	3.00	2.58	2.33	2.05	2.00	1.96	1.65	1.28	1.00
Error máximo en Mpa (10% F'c)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
Factor corrección desviación estándar	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
Desviación estándar σ_1 en Mpa	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63	2.63
Tamaño de la muestra según σ_1	19	14	11	9	8	8	6	3	2
Desviación estándar σ_2 en Mpa	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Tamaño de la muestra según σ_2	2	1	1	1	1	1	1	0	0

Tabla 9 Plazo para ensayar los especímenes luego del curado.

Edad del ensayo	Plazo
24 horas	± 0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas o 2.8%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

Tabla 10 Resultados de CBR y módulo de reacción, tomado del estudio de suelos para la vía carrera cuarta entre intersección con vía circunvalar y calle cuarta, en el municipio de Sandoná - Nariño.

Descripción	CBR promedio	Módulo de reacción (K) Mpa
Carrera 4ta entre intersección con vía circunvalar y calle 4ta	19.4	60

Nota. Adaptado del Anexo 5 – Estudio de suelos Municipio de Sandoná.

Tabla 11 Análisis para el carril de diseño, tomado del estudio de tránsito para la vía carrera cuarta entre intersección con vía circunvalar y calle cuarta, en el municipio de Sandoná - Nariño.

Periodo de análisis				
Total años	20			
Análisis para el carril de diseño				
Tipo de vehículo	Total Vehículos	Factor de daño	Ejes equivalentes	% Distribución TPDS
Autos	8514824	0	0	84.14%
Buses	344950	1	344950	3.41%
C2P	544658	1.01	550105	5.40%
C2G	423623	2.29	970097	4.18%
C3-C4	254174	3.91	993820	2.53%
C5	24207	3.66	88598	0.24%
>C5	12104	4.46	53984	0.10%
Factor de distribución por carril			100%	
Número de ejes equivalentes de 8.2 ton carril de diseño			3001553	

Nota. Adaptado del Anexo 6 - Estudio de Transito Pavimento Cra 4ta Municipio de Sandoná.

Anexo 2:

Registro Fotográfico

Lista de Figuras

Figura 1. Trituración de material proveniente de demolición de pavimento rígido.	3
Figura 2. Selección manual de material fragmentado proveniente de demolición de pavimento rígido.	3
Figura 3. Agregados naturales en planta de acopio – cantera Oscar Pabón (Sector Briseño bajo – Pasto).	4
Figura 4. Dosificación de materiales en laboratorio para elaboración de mezclas.	4
Figura 5. Ensayo slump a mezclas de concreto fresco con agregado reciclado.	5
Figura 6. Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto.	5
Figura 7. Elaboración de especímenes de concreto en forma de vigas.	6
Figura 8. Proceso de curado de especímenes de concreto.	6
Figura 9. Proceso de rotura de cilindros a compresión.	7
Figura 10. Proceso de rotura de vigas a flexión.	7
Figura 11. Falla por desprendimiento de material de cilindros. Edades entre los 7 y 14 días	8
Figura 12. Esquemas de patrones de falla típicos.	8
Figura 13. Falla tipo cono y grietas verticales. Ensayo a la edad de 28 días.	9



Figura 1 Trituración de material proveniente de demolición de pavimento rígido.



Figura 2 Selección manual de material fragmentado proveniente de demolición de pavimento rígido.



Figura 3 Agregados naturales en planta de acopio – cantera Oscar Pabón (Sector Briseño bajo – Pasto).



Figura 4 Dosificación de materiales en laboratorio para elaboración de mezclas.



Figura 5 Ensayo slump a mezclas de concreto fresco con agregado reciclado.



Figura 6 Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto.



Figura 7 Elaboración de especímenes de concreto en forma de vigas.



Figura 8 Proceso de curado de especímenes de concreto.



Figura 9 Proceso de rotura de cilindros a compresión.



Figura 10 Proceso de rotura de vigas a flexión.



Figura 11 Falla por desprendimiento de material de cilindros. Edades entre los 7 y 14 días

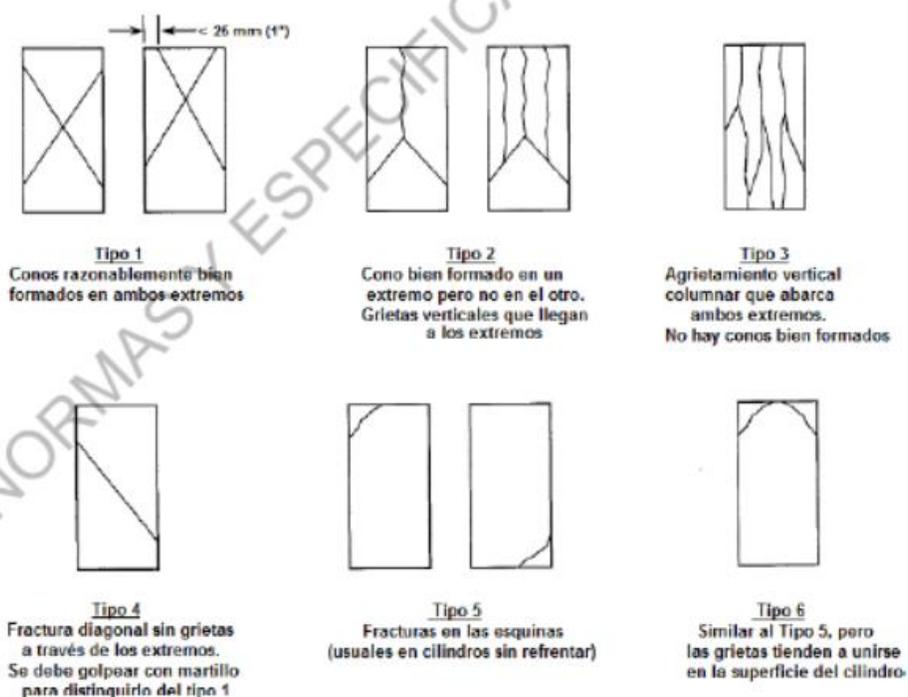


Figura 12 Esquemas de patrones de falla típicos.

Nota. Adoptado de Esquemas de patrones de falla típicos INV. E-410, INVIAS, 2012.



Figura 13 Falla tipo cono y grietas verticales. Ensayo a la edad de 28 días.

Anexo 3: Caracterización De Materiales

ANEXO: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

JUAN CARLOS TRUJILLO D. LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES	MASA UNITARIA INVE -217	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
		MUESTRA	0003

IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION
UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FECHA martes, 14 de agosto de 2018

LUGAR DE ENSAYO Laboratorio de Suelos Juan Carlos Trujillo D.

TIPO MATERIAL RECICLADO

TIPO GRADACIÓN AG-1

LOCALIZACIÓN SAN JUAN DE PASTO

PROCEDENCIA PAVIMENTO DE 3000 PSI

SUELTO	
PESOS	Gr
1.	10322
2.	10448
3.	10306
4.	10309
PROMEDIO	10346,25

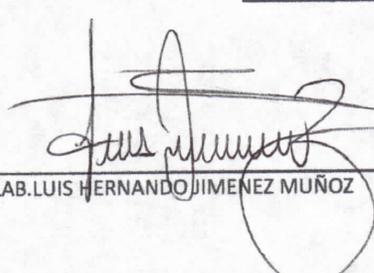
VARILLADO	
PESOS	Gr
1.	11504
2.	11488
3.	11506
4.	11489
PROMEDIO	11496,75

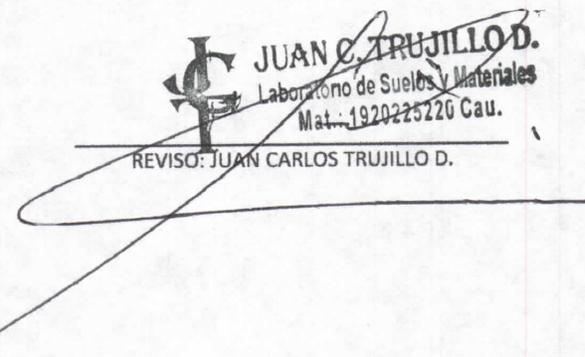
VOLUMEN DEL MOLDE (cm³): 8000

MASA UNITARIA SUELTA (g/cm³): 1,29

MASA UNITARIA VARILLADA (g/cm³): 1,44

OBSERVACIONES: _____


LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ


JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.
REVISO: JUAN CARLOS TRUJILLO D.

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES	INVE - 222	CÓDIGO: LAB 08-815	0003

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA	FECHA TOMA	14 de agosto de 2018
PROCEDENCIA	PAVIMENTO DE 3000 PSI	LOCALIZACIÓN	SAN JUAN DE PASTO
TIPO CAPA	RECICLADO		

gravedad especifica pasa N°4	1	2	3	4	Promedio
Temperatura (tx) °C	20				
Peso matraz + agua + muestra (Wmam) (g)	1579,5				
Peso de la muestra (Wsss) (g)	500				
Peso muestra seca (Ws) (g)	448				
Peso matraz + agua (Wma) (g)	1300,8				
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,02				2,02
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,65				2,65
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,26				2,26
Absorción %	11,61				11,61
gravedad especifica pasa 3/4" retiene N°4	1	2	3	4	Promedio
Temperatura del ensayo	20	20			
peso muestra sss (g)	609	369,5			
peso muestra en el agua (g)	338	202,6			
peso muestra seca (g)	548	329			
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,02	1,97			2,00
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,61	2,60			2,61
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,25	2,21			2,23
Absorción %	11,13	12,31			11,72

MATERIAL	RET N°4	PASA N°4	PROMEDIO PONDERADO
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,00	2,02	2,02
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,61	2,65	2,64
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,23	2,26	2,26
Absorción %	11,72	11,61	11,61

SI NO

Disposición producto

a. Reprocesar c. Aceptación por derogación
 b. Reclasificar d. Rechazar

OBSERVACIONES

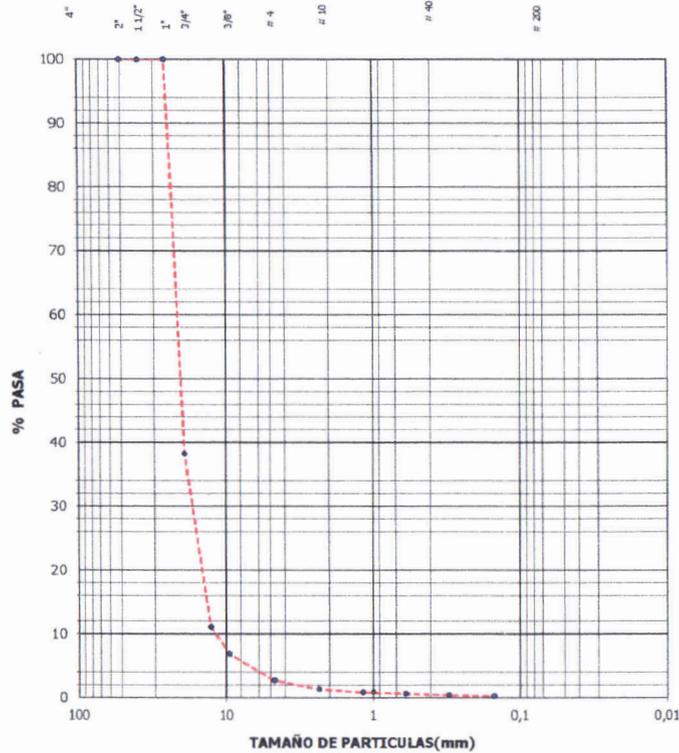
Luis Fernando Jimenez
 LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

JUAN C. TRUJILLO D.
 Laboratorio de Suelos y Materiales
 Mat.: 1920225220 Cau.

ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	ENSAYOS DE LABORATORIO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO INVE - 213	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES		CÓDIGO LAB-06-815	0003

PORCENTAJE PASA vs DIÁMETRO PARTÍCULAS



IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FECHA TOMA	martes, 14 de agosto de 2018
LUGAR DE ENSAYO	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES JUAN CARLOS TRUJILLO
TIPO CAPA	RECICLADO
TIPO GRADACIÓN	
LOCALIZACIÓN	SAN JUAN DE PASTO
PROCEDENCIA	PAVIMENTO DE 3000 PSI

TAMIZ	TAMIZ	RET ACUM	RET ACUM.	PASA	ESPECIFICACION	CUMPLE?
No.	mm	gr.	%	%		
3 1/2"	90,60			100,0		
3"	76,10			100,0		
2 1/2"	64,00			100,0		
2"	50,80			100,0		
1 1/2"	38,10			100,0		
1"	25,40			100,0		
3/4"	19,00	4605	61,8	38,2		
1/2"	12,70	6625	88,9	11,1		
3/8"	9,51	6944,5	93,2	6,8		
No. 4	4,76	7247,5	97,2	2,8		
No. 8	2,36	7352	98,6	1,4		
No. 16	1,18	7389	99,1	0,9		
No. 30	0,60	7403,5	99,3	0,7		
No. 50	0,30	7420,5	99,5	0,5		
No. 100	0,15	7433,5	99,7	0,3		
Fondo		7454,5	100,0			

CONTROL PRODUCTO

Producto Conforme: SI NO

Disposición producto no conforme:

a. Reprocesar <input type="checkbox"/>	c. Aceptación por derogación (con o sin reparación) <input type="checkbox"/>
b. Reclassificar <input type="checkbox"/>	d. Rechazar <input type="checkbox"/>

OBSERVACIONES _____

Luis Hernando Jimenez
LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

PESO SECO TOTAL 7454,5 g
 MÓDULO DE FINURA 8,37
 PASA TAMIZ No 200 %

JUAN C. TRUJILLO D.
 Laboratorio de Suelos y Materiales
 Calle 1920225220 Cau.

 ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES	INVE - 222	CÓDIGO: LAB 08-815	0001

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA	FECHA TOMA	14 de agosto de 2018
PROCEDENCIA	MINA OSCAR PABON	LOCALIZACIÓN	SAN JUAN DE PASTO
TIPO CAPA	ARENA PARA CONCRETO HIDRAULICO		

gravedad especifica pasa N°4	1	2	3	4	Promedio
Temperatura (tx) °C	20	20			
Peso matraz + agua + muestra (Wmam) (g)	1612,3	828,3			
Peso de la muestra (Wsss) (g)	500	250			
Peso muestra seca (Ws) (g)	472,4	238			
Peso matraz + agua (Wma) (g)	1300,8	673			
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,51	2,51			2,51
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,94	2,88			2,91
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,65	2,64			2,65
Absorción %	5,84	5,04			5,44
gravedad especifica pasa 3/4" retiene N°4	1	2	3	4	Promedio
Temperatura del ensayo	20	20			
peso muestra sss (g)	306,43	382			
peso muestra en el agua (g)	185,5	232,8			
peso muestra seca (g)	290,61	361,44			
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,40	2,42			2,41
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,76	2,81			2,79
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,53	2,56			2,55
Absorción %	5,44	5,69			5,57

MATERIAL	RET N°4	PASA N°4	PROMEDIO PONDERADO
Densidad Relativa SH (g/cm3)	2,41	2,51	2,51
Densidad Relativa Aparente (g/cm3)	2,79	2,91	2,90
Densidad Relativa SSS (g/cm3)	2,55	2,65	2,64
Absorción %	5,57	5,44	5,45

Producto Conforme: SI NO

Disposición producto

a. Reprocesar c. Aceptación por derogación
b. Reclasificar d. Rechazar

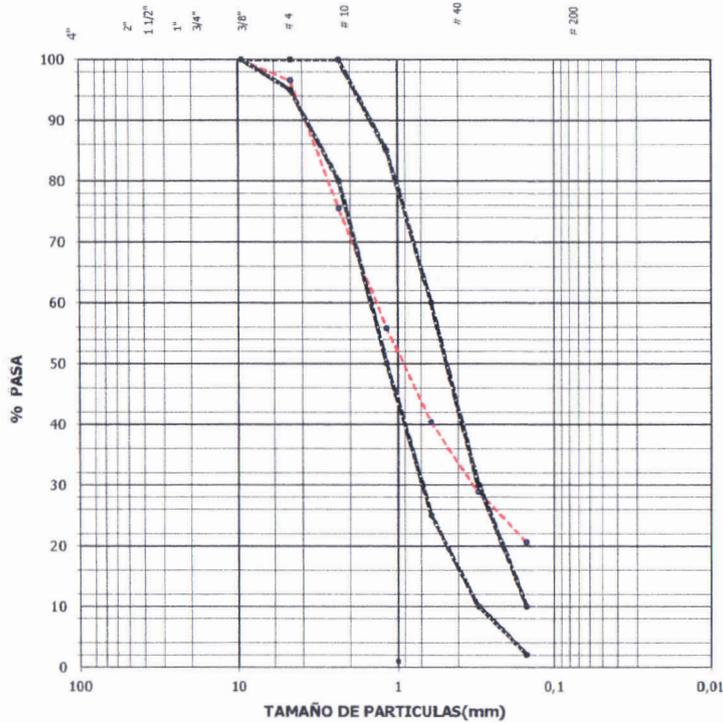
OBSERVACIONES

Luis Fernando Jimenez
LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Cauca - 192625220 Cau.
ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	ENSAYOS DE LABORATORIO ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO INVE - 213	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES		CÓDIGO LAB-06-815	0001

PORCENTAJE PASA vs DIÁMETRO PARTÍCULAS



IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FECHA TOMA	<u>martes, 14 de agosto de 2018</u>
LUGAR DE ENSAYO	<u>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES JUAN CARLOS TRUJILLO</u>
TIPO CAPA	<u>ARENA PARA CONCRETO HIDRAULICO</u>
TIPO GRADACIÓN	<u>AF1</u>
LOCALIZACIÓN	<u>SAN JUAN DE PASTO</u>
PROCEDENCIA	<u>MINA OSCAR PABON</u>

TAMIZ	TAMIZ	RET ACUM	RET ACUM.	PASA	ESPECIFICACION		CUMPLE?
No.	mm	gr.	%	%			
3/8"	9,520			100,0	100	100	
4	4,750	178,7	3,4	96,6	95	100	
8	2,360	1291,1	24,5	75,5	80	100	
16	1,180	2327,3	44,2	55,8	50	85	
30	0,600	3142,9	59,6	40,4	25	60	
50	0,300	3746,3	71,1	28,9	10	30	
100	0,150	4184,1	79,4	20,6	2	10	
Fondo		5269,5	100,0				

CONTROL PRODUCTO

Producto Conforme: SI NO

Disposición producto no conforme:

a. Reprocesar	<input type="checkbox"/>	c. Aceptación por derogación (con o sin reparación)	<input type="checkbox"/>
b. Reclasificar	<input type="checkbox"/>	d. Rechazar	<input type="checkbox"/>

OBSERVACIONES

Luis Hernando Jimenez
LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

PESO SECO TOTAL 5269,5 g
 MODULO DE FINURA 2,82
 PASA TAMIZ No 200 14,86 %

JUAN C. TRUJILLO D.
 Laboratorio de Suelos y Materiales
 Mat.: 1920225720 ext.

 ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	MASA UNITARIA INVE -217	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES		MUESTRA	1

IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FECHA	<u>martes, 14 de agosto de 2018</u>
LUGAR DE ENSAYO	<u>Laboratorio de Suelos Juan Carlos Trujillo D.</u>
TIPO CAPA	<u>Arena para produccion de concretos</u>
TIPO GRADACIÓN	<u>AF1</u>
LOCALIZACIÓN	<u>SAN JUAN DE PASTO</u>
PROCEDENCIA	<u>MINA OSCAR PABON</u>

SUELTO	
PESOS	Gr
1.	3325
2.	3335
3.	3345
4.	3345
PROMEDIO	3337,5

COMPACTO	
PESOS	Gr
1.	3665
2.	3665
3.	3565
4.	3635
PROMEDIO	3632,5

VOLUMEN DEL MOLDE (cm³): 2132,7

MASA UNITARIA SUELTA (g/cm³): 1,56

MASA UNITARIA VARILLADA (g/cm³): 1,70

OBSERVACIONES: _____

Luis Fernando Jimenez
LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat. 1920225220 Cau.
ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	MASA UNITARIA	DIEGO CANCHALA - HAROLD	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES	INVE -217	CORDOBA	
		MUESTRA	0002

IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FECHA	martes, 14 de agosto de 2018
LUGAR DE ENSAYO	Laboratorio de Suelos Juan Carlos Trujillo D.
TIPO MATERIAL	GRAVA PARA CONCRETOS
TIPO GRADACIÓN	AG-1
LOCALIZACIÓN	SAN JUAN DE PASTO
PROCEDENCIA	CANTERA OSCAR PABON

SUELTO	
PESOS	Gr
1.	10610
2.	10570
3.	10590
4.	10590
PROMEDIO	10590

VARILLADO	
PESOS	Gr
1.	11450
2.	11120
3.	11290
4.	11290
PROMEDIO	11287,5

VOLUMEN DEL MOLDE (cm³): 8000

MASA UNITARIA SUELTA (g/cm³): 1,32

MASA UNITARIA VARILLADA (g/cm³): 1,41

OBSERVACIONES: _____

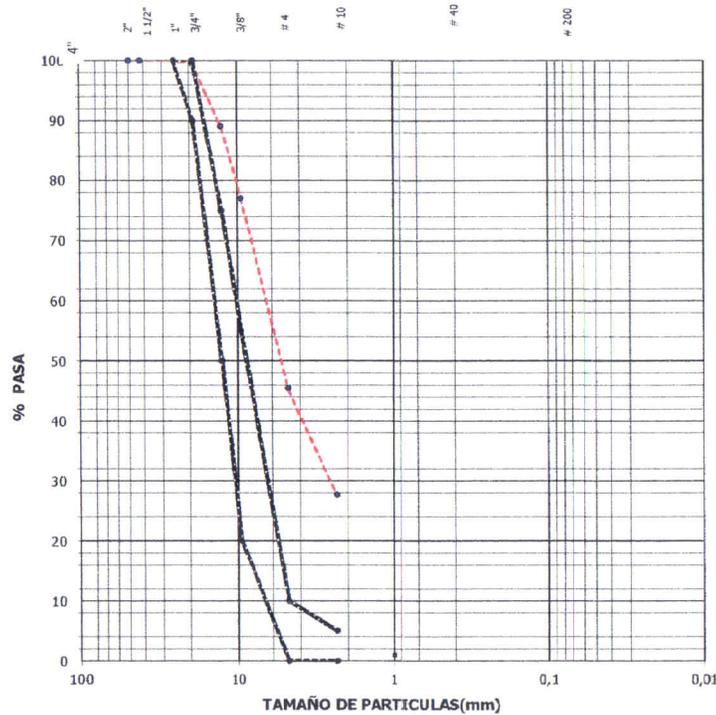
Luis Fernando Jimenez
LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.

REVISO: JUAN CARLOS TRUJILLO D.

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	ENSAYOS DE LABORATORIO ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO INVE - 213	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES		CÓDIGO LAB-06-815	0002

PORCENTAJE PASA vs DIÁMETRO PARTÍCULAS



IDENTIFICACION DEL MATERIAL.

OBRA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FECHA TOMA	martes, 14 de agosto de 2018
LUGAR DE ENSAYO	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES JUAN CARLOS TRUJILLO
TIPO CAPA	GRAVA PARA CONCRETOS
TIPO GRADACIÓN	AG25
LOCALIZACIÓN	SAN JUAN DE PASTO
PROCEDENCIA	CANTERA OSCAR PABON

TAMIZ No.	TAMIZ mm	RET ACUM gr.	RET ACUM. %	PASA %	ESPECIFICACION		CUMPLE?
2"	50,000			100,0			
1 1/2"	42,360			100,0			
1"	25,400			100,0	100	100	
3/4"	19,050	14,5	0,4	99,6	90	100	
1/2"	12,700	385,0	10,9	89,1			
3/8"	9,520	809,0	23,0	77,0	20	55	
4	4,750	1920,0	54,5	45,5		10	
8	2,360	2548,0	72,3	27,7		5	
Fondo		3523,0	100,0				

CONTROL PRODUCTO

Producto Conforme: SI NO

Disposición producto no conforme: a. Reprocesar c. Aceptación por derogación (con o sin reparación)
 b. Reclasificar d. Rechazar

OBSERVACIONES

Luis Fernando Jimenez
LAB. LUIS FERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

PESO SECO TOTAL 3523,0 gr.

PASA TAMIZ No 200 3,01 %

Tamaño Maximo 1"
Tamaño Maximo Nominal 1/2"

JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat: 1920225-220 Cda.

ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

JUAN CARLOS TRUJILLO D.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES	INVE - 222	CÓDIGO: LAB 08-815	0002

OBRA TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA FECHA TOMA 14 de agosto de 2018

PROCEDENCIA CANTERA OSCAR PABON LOCALIZACIÓN SAN JUAN DE PASTO

TIPO CAPA GRAVA PARA CONCRETOS

PRUEBAS	1	2	3	4	Promedio
Temperatura (tx) °C	20	20	20		
W _{sss} gr.	738,2	744,4	740,4		
W _a gr.	454,1	460,5	443,3		
W _s gr.	727	725,6	713,2		
W _s -W _a g	272,9	265,1	269,9		
W _{sss} -W _a g	284,1	283,9	297,1		
Densidad Relativa Aparente g/cm ³	2,66	2,74	2,64		2,68
Densidad Relativa SH g/cm ³	2,56	2,56	2,40		2,51
Densidad Relativa SSS g/cm ³	2,60	2,62	2,49		2,57
Absorción g/cm ³	1,54	2,59	3,81		2,65

CONTROL PRODUCTO

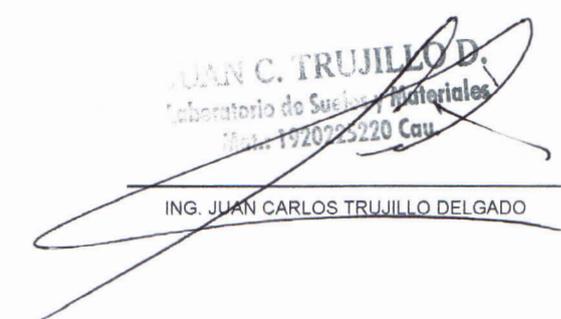
Producto Conforme: SI NO

Disposición producto no conforme:

a. Reprocesar c. Aceptación por derogación
 b. Reclasificar d. Rechazar

OBSERVACIONES

Luis Hernando Jimenez Muñoz
 LAB. LUIS HERNANDO JIMENEZ MUÑOZ

JUAN C. TRUJILLO D.
 Laboratorio de Suelos y Materiales
 Calle 1920223220 Cau

 ING. JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO

 <p>JUAN CARLOS TRUJILLO DELGADO Laboratorio de Suelos y Materiales</p>	DISEÑO DE PRUEBA 1
	DISEÑO DE UNA MEZCLA PARA CONCRETO

Cliente : DIEGO CANCHALA - HAROLD CORDOBA	TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION UNIVERSIDAD DEL CAUCA	3000 PSI
Fecha: 14/08/2018		
MR = kg/cm ²	NORMA ACI 362	MR=2.585(F'c)^(0.5)
Resistencia f'c = 210 kg/cm ²	f'cr = 245 kg/cm ²	ASENTAMIENTO DE 2"

CEMENTO:	MARCA	ARGOS	Densidad g/cm ³	2,996	MUESTRA 50 KG
	TIPO	TIPO UG	Finura Blaine	3998	
ADITIVO No 1:	MARCA				
	TIPO				
ADITIVO No 2:	MARCA				
	TIPO				

AGREGADO FINO		
1	Módulo de finura	2,82
2	Densidad Relativa SH g/cm ³	2,500
3	Absorción %	5,45
4	Masa unitaria suelta kg/m ³	1565
5	Masa unitaria apisonada kg/m ³	1703
6	Materia orgánica	0
	Pasa tamiz 75µ m%	14,86

AGREGADO GRUESO		
7	Tamaño máximo mm	25
8	Densidad Relativa SH g/cm ³	2,499
9	Masa unitaria suelta kg/m ³	1324
10	Masa unitaria apisonada kg/m ³	1411
11	Absorción %	2,65
	Pasa tamiz 75µ m%	3,01
FORMA		CUBICA

12	RELACION A/C	0,495
13	% AGREGADO FINO	52,0
14	% AGREGADO GRUESO	48,0
15	CEMENTO kg/m ³	374
16	AGUA kg/m ³	185
17-A	ADITIVO No 1 (Kg)	
17-B	ADITIVO No 2 (ml)	
	% de aire atrapado =	1,5%

VOLUMEN ABSOLUTO		
18	$\frac{\text{Cemento (15)}}{\text{Peso específico cemento}} =$	125
19	$\text{Agua+cemento+aire}=(16)+(18)+\% \text{aire}$	310
20	$\text{Vol Agregado} = 1000 - (19)$	690
21	$V. \text{grava} = \frac{(20)}{1 + \frac{(13)}{(14)} \times \frac{(8)}{(22)}}$	331
22	$\text{Volumen arena} = (20) - (21)$	359

CANTIDADE EN PESO kg/m ³		
15	Cemento	374
24	Arena = (22) x (2)	897
25	Triturado	828
16	Agua	185
17-A	Aditivo No 1 lts/m ³	0,00
17-B	Aditivo No 2 lts/m ³	0,00

CANTIDADES EN LITROS/MUESTRA DE 50kg Bl/m ³		7,5
26	Cemento = Muestra de 50Kg	1
27	Arena (Kg)	120
28	Triturado (Kg)	111
29	Agua (Kg)	25
30	Aditivo = ml	0

	CEMENTO	ARENA	GRAVA
PROPORCIONES EN PESO	1 :	2,40 :	2,22
TRITURADO :	OSCAR PABÓN TM 1"		
ADITIVO No 1:			

DOSIFICACION EN PESO 1 : 2,4; 2,2

JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.

**CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE
EQUIPOS DE LABORATORIO**



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA

PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.



ISO/IEC 17025:2005
11-I-AC-004

Certificado de Calibración - Laboratorio de Metrología de Fuerza

F 4831

Calibration Certificate - Force Metrology Laboratory

Page / Pág 1 de 4

Equipo <i>Instrument</i>	MÁQUINA DIGITAL DOBLE RANGO PARA ENSAYOS DE CONCRETOS - 1000 kN
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR LTDA
Modelo <i>Model</i>	PC-42-D
Número de Serie <i>Serial Number</i>	170
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	No Presenta
Intervalo de Medición <i>Measurement Range</i>	Del 10 % al 100 %
Solicitante <i>Customer</i>	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES JUAN CARLOS TRUJILLO
Dirección <i>Address</i>	Calle 18 No 61 - 40 ,Torobajo
Ciudad <i>City</i>	Pasto - Nariño
Fecha de Recepción <i>Date of Receipt</i>	2018 - 09 - 05
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2018 - 09 - 05
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2018 - 09 - 11
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	04

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados corresponden al ítem relacionado en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. These results only relate to the item mentioned on page number one. The laboratory that issues it is not responsible for the damages that may result from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

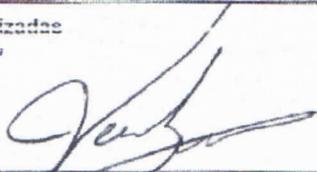
This calibration certificate documents and ensures the traceability to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

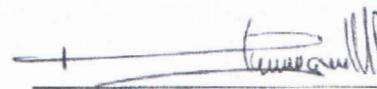
The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar Ltda. no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas Autorizadas
Authorized signatures


Tercio Victor Ballesteros Garzón,
Directiva Laboratorio de Metrología


Ing. Miguel Andrés Vela Avellaneda,
Metrologo Laboratorio de Metrología

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorios: Calle 18 N° 103 B-72 | PBX: 57(1) 7454555 | Bogotá, D.C. Colombia | labmetrologia@pinzuar.com.co | www.pinzuar.com.co



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.



ISO/IEC 17025:2005
11-LAC-004

F - 4831

Page / Pág 2 de 4

DATOS TÉCNICOS

Tipo de equipo: MÁQUINA DIGITAL DOBLE RANGO PARA ENSAYOS DE CONCRETOS
Capacidad: 1000 kN **Dirección de carga:** Compresión
Documento de Referencia: NTC-ISO 7500-1 (2007-07-25)
Ubicación: Laboratorio de Suelos y Materiales, LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
JUAN CARLOS TRUJILLO D.; Pasto - Nariño

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración del instrumento fue efectuada según las disposiciones de la Norma NTC-ISO 7500-1 (2007-07-25), bajo el método de Comparación Directa, Fuerza Indicada Constante. Y en cumplimiento con el Procedimiento Interno LM-PC-05 Versión 13.

PATRONES EMPLEADOS DURANTE LA CALIBRACIÓN

Equipo	CELDA DE CARGA 1000 kN	TERMO - HIGRÓMETRO	BARÓMETRO
Fabricante	AEP TRANSDUCERS		
Tipo / Modelo	KAL 1 MN / MP10 CH2		
Serie	712238 / 6239-2010 10		
Código Interno	017401		
Intervalo de Medición	2,00000 mV/V		
Clase	0,5		
Certificado	3452	MET-LT-CC 17848 / MET-LH-CC 9355	
Organismo Cert.	INM	METROLABOR	
Fecha de Validez	2020-09-04	2018-09-19	
Incertidumbre	0,081 %		
CMC	0,11	No Aplica	Seleccione Barometro

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Posición del Patrón			0°	120°	120°	240°	0°
INDICACIÓN			Serie 1	Serie 2	Serie 2'	Serie 3	Serie 4
Mq.	x	Pt.	Ascendente	Ascendente	Descendente	Ascendente	Acc. Ascendente
%	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
10	100	100,000	100,04	100,28		100,18	
20	200	200,000	198,96	199,89	--	199,39	--
30	300	300,000	299,07	299,73	--	300,03	--
40	400	400,000	398,82	399,56	--	399,44	--
50	500	500,000	498,73	499,43	--	499,05	--
60	600	600,000	598,57	599,21	--	598,59	--
70	700	700,000	698,40	699,32	--	698,78	--
80	800	800,000	798,95	799,40	--	798,90	--
90	900	900,000	898,98	899,70	--	899,28	--
100	1000	1000,000	999,44	1 000,2	--	999,91	--

Indicación después de la carga	0,000	0,000	--	0,000	--
--------------------------------	-------	-------	----	-------	----

Responsable de la calibración: Tecg. Brayan Montañez Romero.



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225226 Cau.



F - 4831

Page / Pág 3 de 4

TABLA DE ERRORES DE LA CALIBRACIÓN

Capacidad		1000,0	kN		Dirección de Carga					Compresión				
Nivel de Carga	Promedio de las Lecturas	Equivalente	CÁLCULO DE ERRORES								Incertidumbre U			
			Exactitud (q)		Repetibilidad (b)		Resolución Relativa (a)	Reversibilidad (v)		Accesorios (Acc)				
%	kN	kN	kN	%	kN	%	%	kN	%	kN	%	kN	%	
10	100,1692	100,0	-0,17	-0,17	0,24	0,24	0,01	-	-	-	-	0,25	0,25	
20	199,4110	200,0	0,59	0,30	0,93	0,47	0,01	-	-	-	-	0,71	0,30	
30	299,6118	300,0	0,39	0,13	0,96	0,32	0,00	-	-	-	-	0,83	0,28	
40	399,2699	400,0	0,73	0,18	0,74	0,19	0,00	-	-	-	-	0,85	0,21	
50	499,0669	500,0	0,93	0,19	0,70	0,14	0,00	-	-	-	-	0,85	0,17	
60	598,7875	600,0	1,21	0,20	0,64	0,11	0,00	-	-	-	-	0,94	0,16	
70	698,8365	700,0	1,16	0,17	0,92	0,13	0,00	-	-	-	-	1,2	0,17	
80	799,0823	800,0	0,92	0,11	0,50	0,06	0,00	-	-	-	-	0,99	0,12	
90	899,3186	900,0	0,68	0,08	0,72	0,08	0,00	-	-	-	-	1,2	0,13	
100	999,8538	1000,0	0,15	0,01	0,77	0,08	0,00	-	-	-	-	1,3	0,13	
ERROR RELATIVO DE CERO			0,000		0,000		---		0,000		---			

ERRORES RELATIVOS ABSOLUTOS MÁXIMOS OBTENIDOS DE LA CALIBRACIÓN

EXACTITUD q (%)	REPETIBILIDAD b (%)	RESOLUCIÓN RELATIVA a (%)	ERROR DE CERO fe (%)	ACCESORIOS (%)	REVERSIBILIDAD v (%)
0,30	0,47	0,01	0,00	0,00	---

RELACION DE LOS ERRORES OBTENIDOS DE LA CALIBRACIÓN

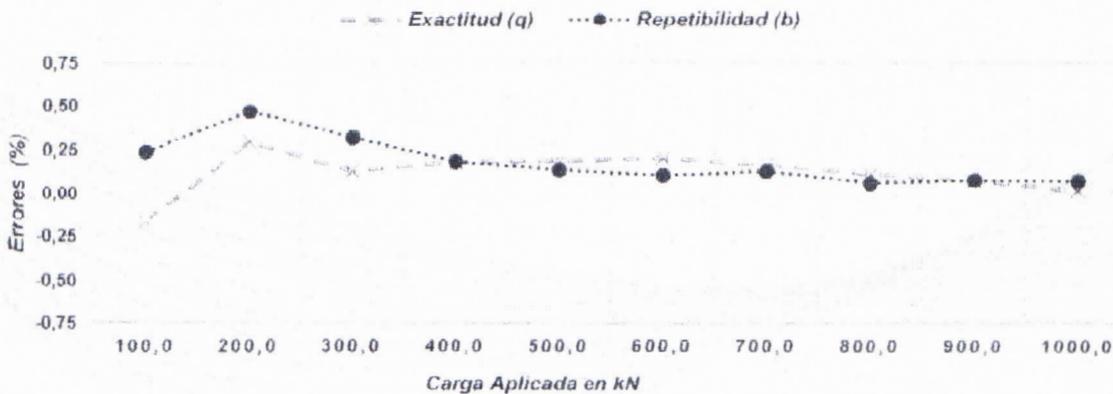


Figura 1 Relación de los errores de Exactitud (q) y de Repetibilidad (b) respecto a la carga aplicada en la calibración.

CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACIÓN

Temperatura mínima:	18,1 °C	Temperatura máxima:	18,7 °C
Humedad relativa mínima:	48,2 %	Humedad relativa máxima:	54,3 %



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.



F - 4831

Page / Pág 4 de 4

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición esta dada en la tabla resultado de la calibración página No 3 La incertidumbre de medición fue calculada utilizando un factor de cobertura $k=2,23$. Para un nivel de confianza aproximado del 95,45% para una distribución "t-student" y fue estimada con el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition, September 2008.

CLASIFICACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO

La siguiente Tabla proporciona los valores máximos permitidos, para los diferentes errores relativos del sistema de medición de fuerza y para la resolución relativa del indicador de fuerza que caracteriza una escala de la máquina de ensayo de acuerdo con la clase apropiada para sus ensayos según la sección 7 de la Norma NTC-ISO 7500-1:2007.

CLASE DE LA ESCALA DE LA MÁQUINA	EXACTITUD (q)	REPETIBILIDAD (b)	REVERSIBILIDAD (v)	CERO (fo)	RESOLUCIÓN RELATIVA (a)
0,5	0,5	0,5	0,75	0,05	0,25
1,0	1,0	1,0	1,50	0,10	0,50
2,0	2,0	2,0	3,00	0,20	1,00
3,0	3,0	3,0	4,50	0,30	1,50

OBSERVACIONES

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento y apta para su calibración.
2. En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. (NTC-ISO 7 500-1)
3. La calibración se realizó bajo condiciones establecidas en la NTC-ISO 7500-1 de 2007, numeral 6.4.2, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C y 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición.
4. Con el presente certificado de calibración se adjunta la estampilla de calibración No. **F - 4831**

Fin del Certificado



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN - LABORATORIO DE FUERZA

Calibration Certificate - Laboratory of Force

Número: **F- 3885**
Number

OBJETO DE PRUEBA:

Instrument
Capacidad
Loading capacity

FABRICANTE
Manufacturer

Modelo
Model

Serie / Código Interno
Identification number

Ubicación de la máquina
Location of the machine

Norma de referencia
Norm of used reference

Intervalo calibrado
Calibrated interval

Solicitante
Customer

Dirección
Address

Cludad
City

PATRON(ES) UTILIZADO(S)
Measurement standard

Tipo / Modelo
Type / Model

Rangos
Measurement range

Fabricante
Manufacturer

No. serie
Identification number

Certificado de calibración
Calibration certification

Incertidumbre de medida
Uncertainty of measurement

Método de calibración
Method of calibration

Unidades de medida
Units of measurement

FECHA DE CALIBRACION
Date of calibration

FECHA DE EXPEDICIÓN
Date of Issue

MÁQUINA DOBLE RANGO PARA ENSAYOS DE CONCRETOS

1000 kN

PINZUAR LTDA.

PC - 42 - D

170 / No Presenta

Laboratorio de Ensayos JUAN CARLOS TRUJILLO; Pasto - Nariño

NTC - ISO 7500 - 1 (2007 - 07 - 25)

Del 20 % al 100 %

JUAN CARLOS TRUJILLO

Calle 18 No. 61 - 40; Barrio torobajo

Pasto - Nariño

KAL /MP10

1 000 kN

AEP

712238

INM 1794

0,090 %

Comparación Directa

Sistema Internacional de Unidades (SI)

2017 - 08 - 16

2017 - 08 - 22

NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS

Number of pages of this certificate and documents attached

3

FIRMAS AUTORIZADAS

Authorized Signatures

Ing. Victor Ballesteros
Director Laboratorio de Metrología

Ing. Miguel Andrés Vela
Metrólogo Laboratorio de Metrología

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente, permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

This certificate is an accurate record of the performed measurements results. This certificate must not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

Los resultados contenidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made.

El Laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o la información contenida en este certificado.

The issuing laboratory assumes no responsibility for any ensuing damages due to the misuse of the calibrated instruments and/or the information of this certificate.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO **F - 3885**
Pág. 2 de 3

Método de Calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE
Tipo de Instrumento: MÁQUINA DOBLE RANGO PARA ENSAYOS DE CONCRETOS

DATOS DE LA CALIBRACIÓN

Dirección de la Carga: Compresión Resolución: 0,01 kN

Indicación de la Máquina		Series de medición: Indicación del Patrón				
%	kN	1 (ASC)	2 (ASC)	2 (DESC)	3 (ASC)	4 (ASC)
		kN	kN		kN	
10	100,0	99,414	99,715		99,414	
20	200,0	198,77	199,07		199,00	
30	300,0	298,43	299,03		298,43	
40	400,0	398,56	399,46		398,56	
50	500,0	499,15	500,01	No Aplica	499,15	No Aplica
60	600,0	599,82	600,62		599,82	
70	700,0	699,31	702,15		699,31	
80	800,0	801,48	802,92		801,48	
90	900,0	902,86	904,43		902,86	
100	1 000,0	1 003,9	1 005,9		1 003,9	
Indicación despues de Carga		0,000	0,000	No Aplica	0,000	No Aplica

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Indicación de la Máquina		Errores Relativos Calculados				Resolución	Incertidumbre
%	kN	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Accesorios Acces. (%)	Relativa a (%)	Relativa U± (%) k=2
10	100,0	0,49	0,30			0,010	0,30
20	200,0	0,53	0,15			0,005	0,19
30	300,0	0,46	0,20			0,003	0,25
40	400,0	0,28	0,23			0,003	0,27
50	500,0	0,11	0,17			0,002	0,22
60	600,0	-0,01	0,13	No Aplica	No Aplica	0,002	0,19
70	700,0	-0,04	0,40			0,001	0,37
80	800,0	-0,24	0,18			0,001	0,23
90	900,0	-0,37	0,17			0,001	0,22
100	1 000,0	-0,46	0,19			0,001	0,24
Error Relativo de Cero fo (%)		0,00					

Calibró: Tec. Juan Camilo Avila
Técnico de Calibración

[Handwritten signature]

CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se realizo bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Mínima: 21,6 °C Humedad Mínima: 34 % Hr
Temperatura Máxima: 22,4 °C Humedad Máxima: 36 % Hr

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO **F - 3885**
Pág. 3 de 3

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

<i>Errores relativos absolutos máximos hallados</i>					
<i>Exactitud q(%)</i>	<i>Repetibilidad b(%)</i>	<i>Reversibilidad v(%)</i>	<i>Accesorios aces(%)</i>	<i>Cero fe(%)</i>	<i>Resolución a(%) en el 20%</i>
0,53	0,40	No Aplica	No Aplica	0,00	0,005

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición esta dada en la tabla de resultados de la página No. 2. La incertidumbre de medición fue calculada utilizando un factor de cobertura $k = 2,217$ Para un nivel de confianza aproximado del 95,45% para una distribución "t-student" y fue estimada con el documento: JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

TRAZABILIDAD

El Laboratorio de Metrología de Pinzuar Ltda. asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido trazados al Sistema Internacional de Unidades. S.I. para la prestación de servicios de calibración según la Norma ISO - IEC 17025

OBSERVACIONES .

1. Se realizó una inspección general de la máquina encontrándose en buen estado de funcionamiento
2. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez
3. El usuario es responsable de establecer los intervalos de calibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (NTC-ISO 7 500-1)
4. En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes. (NTC-ISO 7 500-1)
5. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
6. Los resultados contenidos parcialmente en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
7. La calibración se realizó bajo condiciones establecidas en la NTC-ISO 7 500 - 1 de 2007, numeral 6,4,2.en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10 °C y 35 °C; con una variación máxima de 2 °C durante cada serie de medición.
8. Se adjunta con el certificado la estampilla de calibración No **F - 3885**

FIRMAS AUTORIZADAS


Ing. Víctor Ballesteros
Director Laboratorio de Metrología


Ing. Miguel Andrés Vela
Metrólogo Laboratorio de Metrología

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



JUAN C. TRUJILLO D. Laboratorio de Suelos y Materiales Mat.: 1920225220 Cau.



M 5969

Certificado de Calibración - Laboratorio de Masa y Balanzas

Calibration Certificate - Mass and Weighing Instruments Laboratory

Page / Pág 1 de 4

Table with 3 columns: Field Name, Value, and Description. Fields include Equipo, Fabricante, Modelo, Número de Serie, Identificación Interna, Carga Máxima, Solicitante, Dirección, Ciudad, Fecha de Calibración, Fecha de Emisión, and Número de páginas del certificado.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar Ltda. no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Firmas Autorizadas

Signature of Teca. Víctor Alfonso Ballesteros, Director Laboratorio de Metrología

Signature of Teca. Francisco Adelfo Durán, Metrologo Laboratorio de Metrología

LM-PC-23-F-02 Rev. 3



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.



ISO/IEC 17025:2005
11-LAC-004

M - 5969

Page / Pág. 2 de 4

DATOS TÉCNICOS

Método Empleado	Comparación Directa
Intervalo Calibrado	40 g a 6 000 g
División de Escala	0,2 g
Resolución	0,2 g
Número de Serie	NT160214
Identificación interna	No Presenta
Instrumentos de Referencia	
Tipo / Modelo	Cilíndricas
Marca	PINZUAR LTDA
Código interno	011101
Clase de exactitud	F1
Certificado No.	M-1917 Unión Metroológica / M 5717 Pinzuar Ltda.
Documento(s) de Referencia	Guía SIM MWG7/gc-01/V.00 2009 Guía para la calibración de los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático.
Procedimiento Interno Número	IM - PC - 24

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Se realizaron las Pruebas para los errores de las indicaciones, repetibilidad, excentricidad. Siguiendo los lineamientos de la Guía SIM - 2009, Números 4,5,6,7 Apéndice A,B,C,D,E,F obteniendo los resultados a continuación:

RESULTADOS ENSAYO DE EXACTITUD

Carga	Indicación Ascendente	Error	Indicación Descendente	Error	Incertidumbre expandida
g	g	g	g	g	± g
10	10,0	0,00	10,0	0,00	0,24
1 500	1 500,0	0,00	1 500,2	0,20	0,24
3 000	3 000,2	0,20	3 000,2	0,20	0,24
4 500	4 500,2	0,20	4 500,2	0,20	0,24
6 000	6 000,2	0,20	6 000,2	0,20	0,24

Tabla 1. Resultados prueba de exactitud

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

Laboratorios: Calle 18 N° 103 B-72 | PBX: 57(1) 7454555 | Bogotá, D.C. Colombia | labmetrologia@pinzuar.com.co | www.pinzuar.com.co



PINZUAR LTDA
LABORATORIO DE METROLOGÍA



JUAN C. TRUJILLO D.
Laboratorio de Suelos y Materiales
Mat.: 1920225220 Cau.



M - 5969

Page / Pág 4 de 4

CONDICIONES AMBIENTALES

El lugar de la calibración fue LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES, LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES JUAN CARLOS TRUJILLO D. ; PASTO - NARIÑO. Durante la calibración se registraron las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Máxima:	23,4 °C	Temperatura Mínima:	21,5 °C
Humedad Máxima:	42 %HR	Humedad Mínima:	38 %HR
Presión Barométrica Máxima:	754,4 hPa	Presión Barométrica Mínima:	754,3 hPa

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

La incertidumbre expandida declarada en la tabla de resultados de la página dos se calculo con un k= 2. Todo lo anterior basados con el documento: JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition.

OBSERVACIONES

1. Se usa la coma como separador decimal
2. Se adjunta la estampilla de calibración No. **M - 5969**

Firmas Autorizadas

Authorized signatures

Tecg. Victor Alfonso Ballesteros
Director Laboratorio de Metrologia

Tecg. Francisco Adolfo Durán
Metrólogo Laboratorio de Metrologia

Fin de Documento



PINZUAR LTDA
ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICADO DE INSPECCIÓN

JUEGO DE ALMOHADILLAS DE NEOPRENO 4"

CONFORME CON LA NORMA

NORMA: ASTM C-1231 REFERENCIA: PC125

CERTIFICA QUE CUMPLE CON
LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS

CARACTERISTICAS	RESULTADO	UNIDAD
Diámetro de la almohadilla	107,87	mm
Espesor de la almohadilla	12,17	mm

No Serie / Lote: N.P./035001

FECHA: 2016-04-19 FIRMA: Teisson R.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

Pinzuar Ltda. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

TEL: (571) 7454555 | Calle 18 No. 103 B 72
www.pinzuar.com.co Bogotá - Colombia



PINZUAR LTDA
ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO

INSPECTION CERTIFICATE CERTIFICADO DE INSPECCIÓN

JUEGO DE ALMOHADILLAS DE NEOPRENO 6"

CONFORME CON LA NORMA

NORMA: ASTM C-1231 REFERENCIA: PC124

CERTIFICA QUE CUMPLE CON
LOS SIGUIENTES REQUERIMIENTOS

CARACTERISTICAS	RESULTADO	UNIDAD
Diámetro de la almohadilla	158,28	mm
Espesor de la almohadilla	12,48	mm

No Serie / Lote: N.P./036001

FECHA: 2016-05-04 FIRMA: Teisson R.

PINZUAR LTDA

Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.

Pinzuar Ltda. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.

TEL: (571) 7454555 | Calle 18 No. 103 B 72
www.pinzuar.com.co Bogotá - Colombia

Anexo 4: Análisis Estadístico – Anova

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_K = \mu$$

$$H_1: \exists \mu_j \neq \mu \quad j = 1, 2, \dots, K$$

El Anova o análisis de varianza para comparar múltiples medias, requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homocedasticidad).

Para las pruebas de hipótesis abordadas en el documento se tomó un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha=0.05$), correspondiente a un nivel de confianza del 95%.

RESISTENCIA DEL CONCRETO A FLEXIÓN

Se pretende analizar si la cantidad de días y el tipo de mezcla influyen sobre la resistencia a la flexión; para ello se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) de dos vías al cual se le asoció las siguientes hipótesis:

Mezcla:

Ho: El tipo de mezcla no influye en la resistencia del material ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$)
(Igualdad de medias de la resistencia por cada mezcla)

Ha: El tipo de mezcla influye en la resistencia del material ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$)
(Diferencia en al menos un par de medias de las resistencias por mezcla)

Días:

Ho: La cantidad de días no influye en la resistencia del material ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) (Igualdad de medias de la resistencia por cada mezcla)

Ha: La cantidad de días influye en la resistencia del material ($\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$) (Diferencia en al menos un par de medias de los días por mezcla)

Interacción:

Ho: Existe ausencia de interacción entre los factores.

Ha: No existe ausencia de interacción entre los factores.

Para probar las hipótesis se utilizó la prueba de contraste estadística que señala:

* Si $P \text{ valúe } ((Pr>F)) > 0,05$; se acepta la hipótesis nula (H_0) –Es decir se rechaza H_a –.

* Si $P \text{ valúe } ((Pr>F)) < 0,05$; no hay la suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula (H_0) –Es decir se acepta H_a –

**La prueba de contraste se utilizará igual para validar todas las hipótesis

Se realiza el ANOVA obteniéndose los siguientes resultados.

Analysis of Variance Table

Response: Resistencia

Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)
mezcla	4 2.37908	0.59477	46.447	1.404e-05 ***
días	2 1.26710	0.63355	49.476	3.131e-05 ***
mezcla: días	8 2.32342	0.23451	0.2233	0.992

Residuals 8 0.10244 0.01281

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

De acuerdo con los resultados, con un estadístico $F = 46.447$ y $p = 1.40E-05$ y $F = 49.48$ $p = 3.13e-05$ respectivamente y de acuerdo con la prueba de contraste no existe evidencia para aceptar la hipótesis nula por lo que se acepta que existen diferencias significativas en las medias de la variable mezcla y días con la variable dependiente resistencia ($p < 0.05$). Esto puede evidenciarse mediante las figuras 1 y 2.

Figura 1. Resistencia por tipo de mezcla.

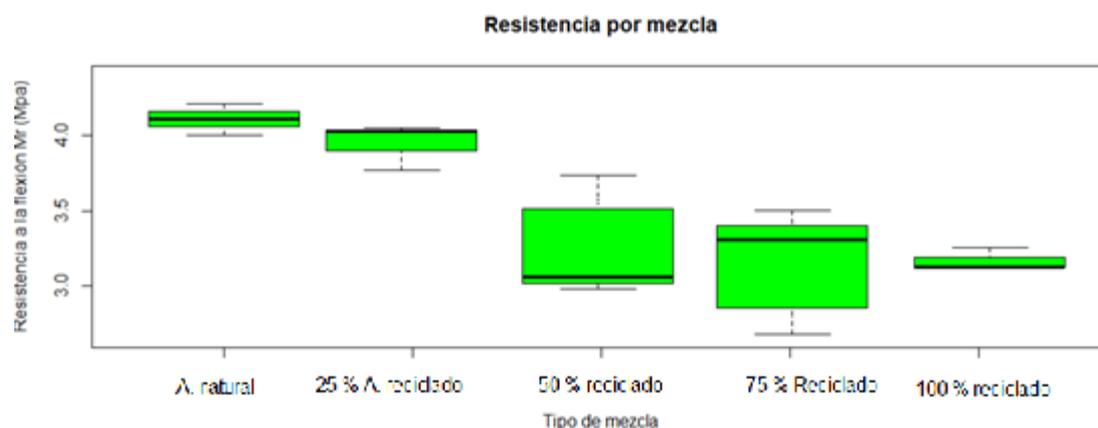
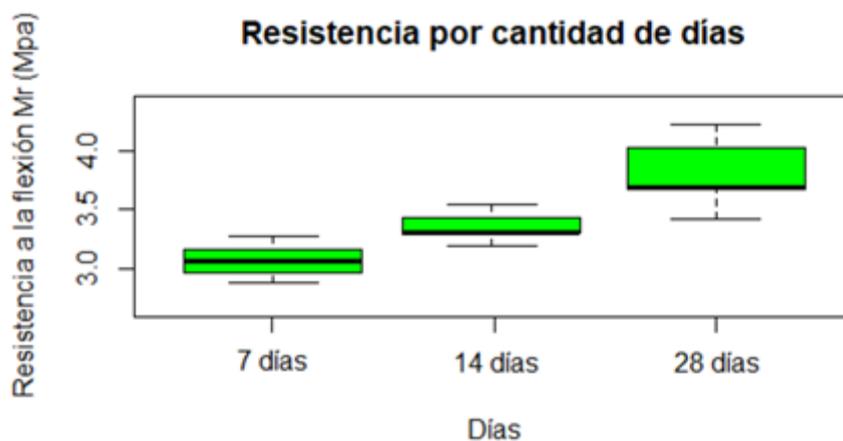
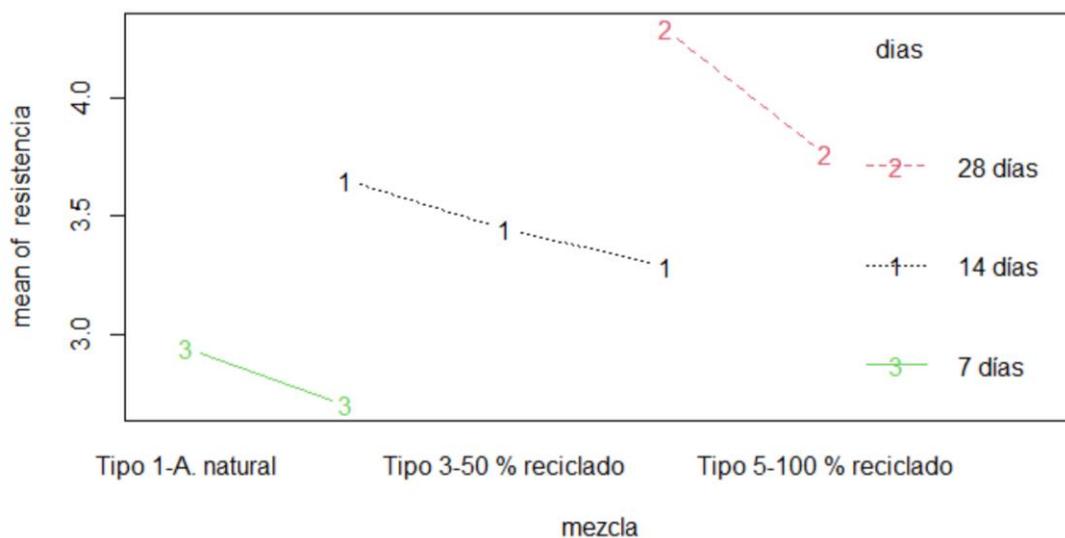


Figura 2. Resistencia por cantidad de días.



Por otra parte, en cuanto a la interacción de factores, el análisis de varianza evidenció que no existió interacción entre las mismas.

Figura 3. Interacción de factores.



Post hoc

Ahora bien, conociendo que existió diferencias significativas entre las variables se realizó un análisis post hoc, con el fin de identificar cual par de categorías tuvieron diferencias significativas. La prueba realizada fue la prueba Tukey, resultados que se encuentran consignados en la figura 4.

Figura 4. Prueba Tukey.

```

> TukeyHSD(anova1)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = resistencia ~ mezcla + dias)

$mezcla
              diff              lwr
Tipo 2-25 % A. reciclado-Tipo 1-A. natural  0.0750000 -0.244202092
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 1-A. natural    0.5033333  0.184131242
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 1-A. natural    1.0123333  0.693131242
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 1-A. natural    0.8186667  0.499464575
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  0.4283333  0.109131242
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  0.9373333  0.618131242
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  0.7436667  0.424464575
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 3-50 % reciclado    0.5090000  0.189797908
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 3-50 % reciclado    0.3153333 -0.003868758
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 4-75 % Reciclado -0.1936667 -0.512868758
              upr              p adj
Tipo 2-25 % A. reciclado-Tipo 1-A. natural  0.3942021  0.9198137
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 1-A. natural    0.8225354  0.0040053
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 1-A. natural    1.3315354  0.0000301
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 1-A. natural    1.1378688  0.0001446
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  0.7475354  0.0106244
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  1.2565354  0.0000535
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado  1.0628688  0.0002885
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 3-50 % reciclado    0.8282021  0.0037326
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 3-50 % reciclado    0.6345354  0.0529324
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 4-75 % Reciclado    0.1255354  0.3071314

> tapply(resistencia,mezcla,mean)
      Tipo 1-A. natural Tipo 2-25 % A. reciclado Tipo 3-50 % reciclado
      2.943667          3.018667          3.447000
      Tipo 4-75 % Reciclado Tipo 5-100 % reciclado
      3.956000          3.762333

> tapply(resistencia,dias,mean)
14 días 28 días  7 días
 3.4562  3.9732  2.8472

```

En cuanto a la variable mezcla la prueba Tuckey no evidenció diferencias significativas entre el tipo 2-25% reciclado y el tipo 1, mientras que si lo hizo con el tipo 3-50% reciclado, tipo 4-75% y tipo 5. 100% con el natural (Todos con medias superiores a la misma). Por otra parte, se evidenció también diferencias entre el tipo 2, con el tipo 3, 4 y 5. Entre el 3 y 4 también hubo, mientras que no lo hubo entre el 4 y 5 y 3 y 5.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta los gastos, la mezcla óptima estadísticamente sería la 3, pues arroja los mismos resultados que la 5 y la diferencias con la mezcla 4, a pesar de que es menor, es relativamente cercana.

Validación de supuestos.

Los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) solo son válidos siempre y cuando cumplan los supuestos de esta los cuales son homocedasticidad, independencia de los residuos y normalidad de los residuos.

Se realizará de manera esquemática solo una validación del ANOVA y los demás se consignan en los ANEXOS.

** Para probar **homocedasticidad** se realiza la prueba de Bartlett con una prueba de hipótesis asociada:

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$ Existe homocedasticidad (Igualdad de varianzas) en el modelo

H1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2$ No Existe homocedasticidad (No Igualdad de varianzas) en el modelo – O sea existe heterocedasticidad--.

De acuerdo con R se obtiene:

> Bartlett. Test (Resistencia ~ mezcla)

Bartlett test of homogeneity of variances

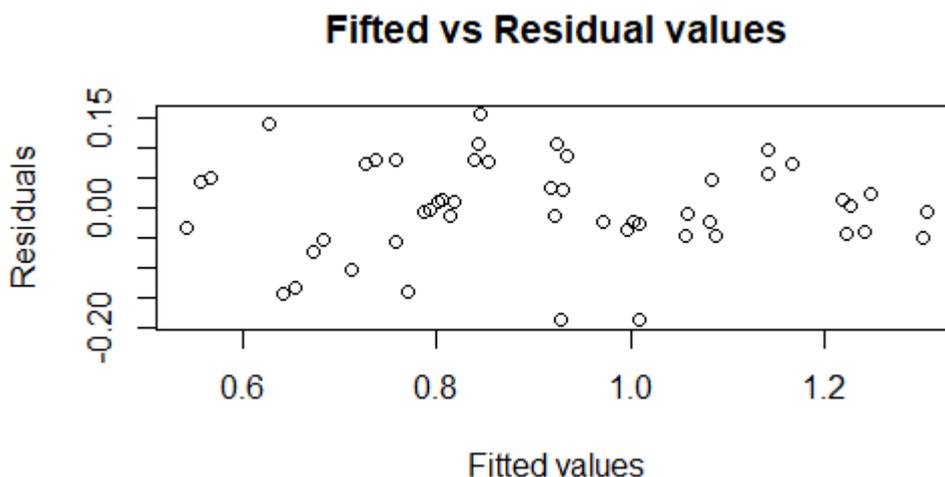
data: velocidad by dosis

Bartlett's K-squared = 1.6257, df = 4, p-value = 0.8042

Debido a que p valué $> 0,05$, no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y por lo tanto se acepta el supuesto de homocedasticidad.

** Para probar independencia de los residuos se visualiza el gráfico de residuales reales con ajustados y se detecta si hay correlación o no entre ambas, pues el supuesto asume que no los errores no están auto correlacionados.

Figura 4.



Además, para validar la independencia de los residuos puede usarse el test durbin-watson, cuyo resultado estará entre 1.0 y 2.5 cuando no existe dependencia de los residuos. Además, lleva asociado una prueba de hipótesis:

Ho: $\beta_1 = 0$ La autocorrelación es cero:

H1: $\beta_1 \neq 0$ La autocorrelación es distinta de cero:

> #Durbin Watson= Independencia de los residuos.

Durbin-Watson test

data: velocidad ~ dosis

DW = 1.2026, p-value = 0.1001659

alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0.

Por una parte, se evidencia mucha dispersión en el gráfico de dispersión de los errores; por otra parte, el estadístico de durbin-watson es de 1.2026 (Está entre 1.0 y 2.5) y p valor= 0.101659 ($p > 0,05$) por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se infiere que no hay correlación entre dichos errores y que por lo tanto se cumple el supuesto de independencia.

** El supuesto de **normalidad** del modelo establece que los errores siguen aproximadamente una distribución normal. Para probar dicha normalidad se realiza la prueba de Shapiro-Wilk con una prueba de hipótesis asociada:

Ho: Los residuales del modelo tienen una distribución aproximadamente normal

H1: Los residuales del modelo no tienen una distribución aproximadamente normal

De acuerdo con R se obtiene:

> ShapiroResiduos=Shapiro. Test (Análisis\$residuals)

> ShapiroResiduos

Shapiro-Wilk normality test

data: Analisis\$residuals

W = 0.97214, p-value = 0.2823

El p valor es de 0.2823, un valor superior a 0.05, lo que significa que se cumple el supuesto de normalidad.

Debido a que $p \text{ valúe} > 0,05$ (0.2823) se acepta la hipótesis nula y por lo tanto se evidencia que también se cumple el supuesto de normalidad en el modelo.

CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIÓN DE CO2

Se pretende analizar si tipo de mezcla influye sobre el consumo energético y la emisión de CO2; para ello se realizó un análisis de varianzas (ANOVA) de vía para cada una de las variables a la cual se le asoció las siguientes hipótesis:

Consumo energético:

H₀: El tipo de mezcla no influye en el consumo energético del material ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$) (Igualdad de medias de la resistencia por cada mezcla)

H_a: El tipo de mezcla influye en el consumo energético del material ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$) (Diferencia en al menos un par de medias de las resistencias por mezcla)

Emisión CO2:

Para probar las hipótesis se utilizó la prueba de contraste estadística que señala:

* Si P valúe ((Pr>F)) > 0,05; se acepta la hipótesis nula (H₀) –Es decir se rechaza H_a-.

* Si P valúe ((Pr>F)) < 0,05; no hay la suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula (H₀) –Es decir se acepta H_a-

**La prueba de contraste se utilizará igual para validar todas las hipótesis

Se realiza el ANOVA obteniéndose los siguientes resultados.

Consumo energético:

```
> summary(anova1)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)
mezcla	4	13507	3377	3.164e+29	<2e-16 ***
Residuals	5	0	0		

Signif. codes:

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Emisión CO2.

```
> summary(anova2)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	Pr(>F)
mezcla	4	0.000172	4.3e-05	1.377e+30	<2e-16 ***
Residuals	5	0.000000	0.0e+00		

Signif. codes:

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

De acuerdo con los resultados, con un estadístico para ambas variables el $p = 1.40E-05$ y $p = 3.13e-05$ son inferiores a <0.05 y de acuerdo con la prueba de contraste no existe evidencia para aceptar la hipótesis nula por lo que se acepta que existen diferencias significativas en las medias de la variable de las variables por mezcla

Figura 5. Consumo energético por tipo de mezcla.

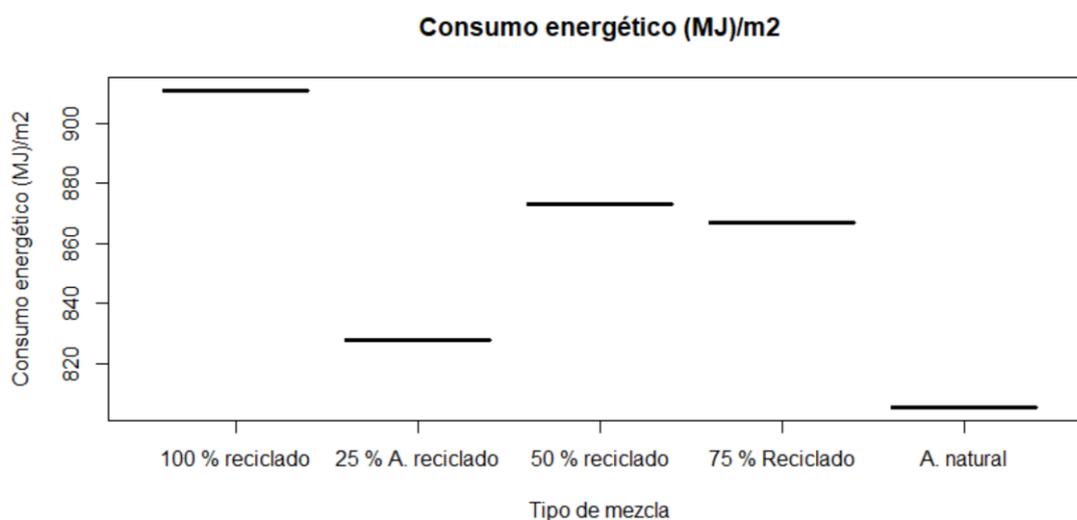
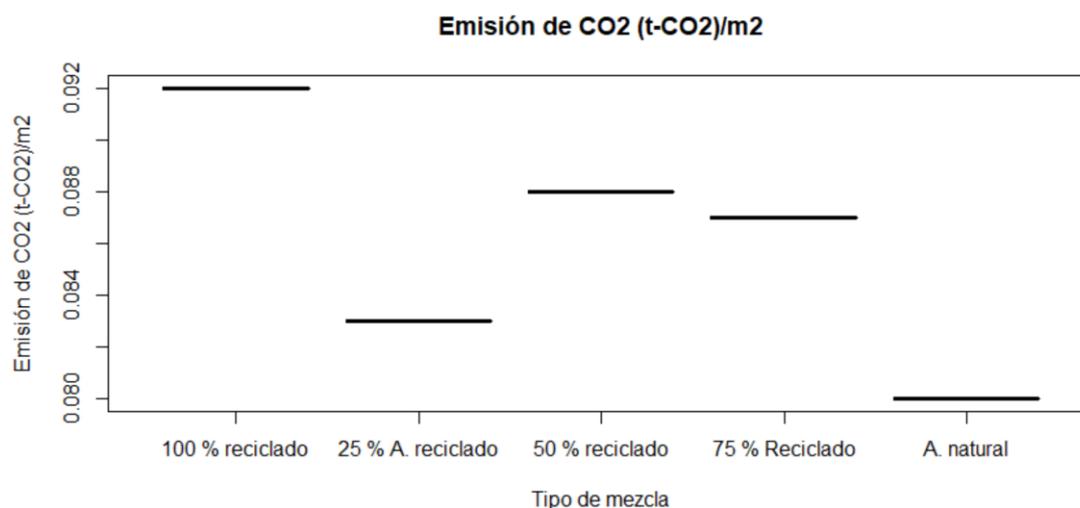


Figura 6. Emisión de Co₂ por mezcla



Post hoc

Ahora bien, conociendo que existió diferencias significativas entre las variables se realizó un análisis post hoc, con el fin de identificar cual par de categorías tuvieron diferencias significativas. La prueba realizada fue la prueba Tukey, resultados que se encuentran consignados en la figura 4.

Figura 7

Prueba Tukey.

```
> TukeyHSD(anova1)
```

```
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = consumo ~ mezcla)
```

```
$mezcla
```

	diff	lwr	upr	p adj
25 % A. reciclado-100 % reciclado	-82.987	-82.987	-82.987	5e-07
50 % reciclado-100 % reciclado	-37.807	-37.807	-37.807	5e-07
75 % Reciclado-100 % reciclado	-44.079	-44.079	-44.079	5e-07
A. natural-100 % reciclado	-105.347	-105.347	-105.347	5e-07
50 % reciclado-25 % A. reciclado	45.180	45.180	45.180	5e-07
75 % Reciclado-25 % A. reciclado	38.908	38.908	38.908	5e-07
A. natural-25 % A. reciclado	-22.360	-22.360	-22.360	5e-07
75 % Reciclado-50 % reciclado	-6.272	-6.272	-6.272	5e-07
A. natural-50 % reciclado	-67.540	-67.540	-67.540	5e-07
A. natural-75 % Reciclado	-61.268	-61.268	-61.268	5e-07

```
> TukeyHSD(anova2)
```

```
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = emision ~ mezcla)
```

```
$mezcla
```

	diff	lwr	upr	p adj
Tipo 2-25 % A. reciclado-Tipo 1-A. natural	0.003	0.003	0.003	5e-07
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 1-A. natural	0.008	0.008	0.008	5e-07
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 1-A. natural	0.007	0.007	0.007	5e-07
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 1-A. natural	0.012	0.012	0.012	5e-07
Tipo 3-50 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado	0.005	0.005	0.005	5e-07
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado	0.004	0.004	0.004	5e-07
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 2-25 % A. reciclado	0.009	0.009	0.009	5e-07
Tipo 4-75 % Reciclado-Tipo 3-50 % reciclado	-0.001	-0.001	-0.001	5e-07
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 3-50 % reciclado	0.004	0.004	0.004	5e-07
Tipo 5-100 % reciclado-Tipo 4-75 % Reciclado	0.005	0.005	0.005	5e-07

En cuanto al consumo y emisión la prueba tukey evidenció diferencias significativas entre todos los tipos de mezclas, esto por el hecho que los contrastes se realizan solo para una medición de cada una de las variables.

- Validación de supuestos.

** Para probar **homocedasticidad** se realiza la prueba de Bartlett con una prueba de hipótesis asociada:

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$ Existe homocedasticidad (Igualdad de varianzas) en el modelo

H1: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2$ No Existe homocedasticidad (Igualdad de varianzas) en el modelo
– O sea existe heterocedasticidad--.

De acuerdo con R se obtiene:

```
> bartlett.test(consumo~mezcla)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: consumo by mezcla

Bartlett's K-squared = 3.2258, df = 9, p-value = 0.7349

```
> bartlett.test(emision~mezcla)
```

Bartlett test of homogeneity of variances

data: emisión by mezcla

Bartlett's K-squared = 2.1581, df = 9, p-value = 0.4725

Debido a que p value > 0,05, no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y por lo tanto se acepta el supuesto de homocedasticidad.

** Para probar independencia de los residuos se realizó la prueba de Durbin obteniéndose:

Ho: $\beta_1 = 0$ La autocorrelación es cero:

H1: $\beta_1 \neq 0$ La autocorrelación es distinta de cero:

> #Durbin watson= Independencia de los residuos.

> dwtest (consumo~mezcla, data=datos)

Durbin-Watson test

data: velocidad ~ dosis

DW = 1.3187, p-value = 0.128753

alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0.

> #Durbin watson= Independencia de los residuos.

> dwtest (emision~mezcla, data=datos)

Durbin-Watson test

data: emision ~ mezcla

DW = 1.4265, p-value = 0.148327

alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0.

El estadístico de durbin-watson (Está entre 1.0 y 2.5) y ($p > 0,05$) por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se infiere que no hay correlación entre dichos errores y que por lo tanto se cumple el supuesto de independencia para ambas variables.

** Normalidad

Ho: Los residuales del modelo tienen una distribución aproximadamente normal

H1: Los residuales del modelo no tienen una distribución aproximadamente normal

De acuerdo con R se obtiene:

```
> ShapiroResiduosconsumo=shapiro.test(anova1$residuals)
```

```
> ShapiroResiduosconsumo
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: Analisis$residuals
```

```
W = 0.8623, p-value = 0.3847
```

```
> ShapiroResiduosconsumo=shapiro.test(anova2$residuals)
```

```
> ShapiroResiduosconsumo
```

Shapiro-Wilk normality test

```
data: Analisis$residuals
```

```
W = 0.8217, p-value = 0.3695
```

Debido a que $p \text{ value} > 0.05$ se acepta la hipótesis nula y por lo tanto se evidencia que también se cumple el supuesto de normalidad en el modelo para ambas variables.

Anexo 5: Estudio De Suelos Municipio De Sandoná



**ESTUDIO DE SUELOS PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE LA PAVIMENTACION
DE LA CARRERA 4TA ENTRE INTERSECCIÓN CON LA VIA CIRCUNVALAR Y LA
CALLE 4 EN EL MUNICIPIO DE SANDONÁ, NARIÑO.**



**NOVIEMBRE
2018**

INTRODUCCIÓN

2

En el diseño y la construcción de la estructura de un pavimento se hace necesario conocer las características del terreno que servirá como fundación; se debe conocer la estratigrafía del subsuelo y las propiedades físicas y mecánicas de los estratos que lo componen, esta información se obtiene de las pruebas de campo y de laboratorio.

El presente informe se refiere a la caracterización físico-mecánica del subsuelo y las recomendaciones de cimentación para el proyecto: CONSTRUCCIÓN DE LA PAVIMENTACION DE LA CARRERA 4TA ENTRE INTERSECCIÓN CON LA VIA CIRCUNVALAR Y LA CALLE 4 EN EL MUNICIPIO DE SANDONÁ, NARIÑO.

El presente informe contiene el resumen de las actividades de campo y laboratorio realizadas, así como los análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones, asociadas al establecimiento de las obras necesarias para el mejoramiento.

1. OBJETIVO

El siguiente estudio tiene como objetivo analizar los perfiles estratigráficos que conforman la subrasante que servirá como soporte para la estructura de pavimento rígido. Esta vía se conforma por una calzada con superficie de rodadura en pavimento articulado (adoquín) y se encuentra en funcionamiento; por esta vía transitan vehículos particulares y públicos.

Objetivos Específicos del Estudio.

- Determinar los perfiles estratigráficos.
- Realizar ensayos de límites, plasticidad.
- Efectuar la clasificación de los suelos.
- Determinar porcentajes de humedad de los suelos de subrasante.
- Determinar la capacidad de carga mediante ensayos de CBR inalterado en condiciones normales y sumergidas.

2. ALCANCE.

Se ha determinado como alcance general del presente estudio, el establecimiento de las condiciones geotécnicas generales de la vía, con base en la zonificación geotécnica del corredor, a partir de la cual

se definirán los parámetros de capacidad portante que permitan el diseño de la cimentación de la estructura de pavimento. Para esto, se establece:



- Efectuar la clasificación de los suelos y la capacidad de carga mediante CBR.
- Efectuar 3 apiques a una profundidad variable de 1.00m hasta 1.50 m.
- Efectuar 6 ensayos de PDC.

3. LOCALIZACION DEL PROYECTO.

El sector de estudio se encuentra localizado en El sector de estudio se encuentra localizado en el casco urbano del municipio de Sandoná en el Departamento de Nariño, más precisamente en las vías:

- Carrera 4 entre intersección con vía circunvalar y la Calle 4

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.



4. OBJETIVO GENERAL DEL ESTUDIO.

El siguiente estudio tiene como objetivo analizar los perfiles estratigráficos que conforman la subrasante que servirá como soporte para la estructura de pavimento rígido.

4**5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO.**

- Determinar los perfiles estratigráficos
- Realizar ensayos de límites, plasticidad
- Efectuar la clasificación de los suelos
- Determinar porcentajes de humedad de los suelos de subrasante.
- Determinar la capacidad de carga mediante ensayos de CBR inalterado en condiciones normales y sumergidas

6. METODOLOGIA

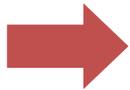
A continuación se describe la metodología utilizada para la elaboración del estudio de suelos y de las correspondientes conclusiones y recomendaciones a los diseños necesarios para ejecución del proyecto ya mencionado.

- Reconocimiento e identificación de las condiciones iniciales de la zona a intervenir con la ejecución del proyecto.
- Estudio de las características superficiales del sitio, a partir de la geomorfología (observación del relieve), y la geología, con la descripción del material encontrado en la exploración de campo.
- Programación de la exploración de campo que incluyó 3 apiques y 6 ensayos PDC in Situ, con el fin de obtener muestras representativas para la ejecución de ensayos de laboratorio que aporten parámetros geotécnicos del suelo.

7. RECONOCIMIENTO GEOTECNICO EN CAMPO DEL TRAMO EN ESTUDIO

Como parte de los trabajos de campo, se realizó una visita al sitio de estudio haciendo una inspección visual de la zona en estudio y complementar la información geográfica encontrada, además se realizó la ubicación y distribución de apiques sobre la vía.

Análisis de los ensayos de laboratorio (PDC)



En base a los resultados de laboratorio y con los datos obtenidos en campo se procesa la información para lo cual se elabora una gráfica de # de golpes acumulado Vs profundidad con el fin de determinar los diferentes estratos presentes en la sub-rasante (ver anexos), de este análisis es posible presentar la siguiente información, en la cual se presenta el cálculo del C.B.R mediante una correlación que es aplicable a todo tipo de suelos, especialmente a suelos finos como los que estamos estudiando. En estas tablas de datos ya se ha realizado la sectorización de las vías.

ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DE PDC				
ENSAYO	UBICACIÓN DE LA VIA	PROFUNDIDAD	CBR	CBR ELEGIDO
		mm		
E-1	El Sondeo se ubica "TRANSANDONA"	0	8.4	29.4
		209	37.6	
		318	29.4	
		627		
E-2	Carrera 4 No. 3-12	0	25.0	32.7
		60	42.9	
		217	32.7	
		429		
E-3	Carrera 4 No. 2 -94	0	6.1	13.0
		151	20.1	
		271	13.0	
		775		
E-4	Carrera 4 No. 2 - 26	0	9.7	20.3
		234	20.3	
		733		
E-5	Carrera 4 No. 1-85	0	19.0	9.3
		82	9.9	
		253	9.3	
		741		
E-6	Carrera 4 No. 2 - 24	0	23.9	11.7
		63	12.7	
		301	25.7	
		371	11.7	
		625		

- Se puede observar claramente se han definido los estratos y se presenta la profundidad del mismo con la relación de soporte de California C.B.R.
- De igual manera se puede observar que los C.B.R elegidos con los cuales posteriormente se calculara los de diseño, son valores conservadores pues se ha tomado el menor valor presente en los suelos de la subrasante.
- Es necesario anotar que la primera lectura de profundidad se realizó al nivel que se encuentra actualmente la subrasante.

A continuación, presento el C.B.R de diseño para los dos tramos:

DESCRIPCIÓN	C.B.R Promedio	Módulo de reacción (k) MPa/m
Carrera 4ta entre intersección con vía circunvalar y calle 4ta	19.4	60

- En la tabla anterior se observan los valore C.B.R promedio calculados para cada sector y de igual manera se encuentran los módulos de reacción para cada sector de la sub-rasante, con los cuales, se trabajará posteriormente el análisis y diseño de las estructuras de pavimento.

9. TIPIFICACION GEOMECANICA DEL SUELO

De acuerdo con el plan exploratorio tenemos que el perfil estratigráfico está conformado por suelos limosos de baja plasticidad. Los resultados se muestran en la tabla 4. (Resultados Clasificación).

Resultados de clasificación.

MUESTRA	ABSCISA	LIMITE LIQUIDO	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACIÓN	
		LL	IP	SUCS	AASHTO
1	PR0+020	82.56	7.88	Arena limosa con grava SM	A-5 Suelo limoso
2	PR0+190	55.05	4.76	Limo alta plasticidad gravoso MH	A-5 Suelo limoso
3	PR0+320	72.86	7.86	Arena limosa con grava SM	A-5 Suelo limoso

Se realizó un chequeo de la expansión del suelo a partir del ensayo de CBR y con base a las correlaciones del índice de plasticidad, resultados que nos permiten observar que los suelos se

encuentran entre un rango no Crítico y Marginal según su grado de expansión. La Tabla 5. Se realiza un resumen de los resultados.

Resultados de expansión.

MUESTRA	ABSCISA	INDICE DE PLASTICIDAD	EXPANSIÓN	
		IP	%	CLASIFICACIÓN
1	PR0+020	7.88	0.328	Marginal
2	PR0+190	4.76	0.214	No crítico
3	PR0+320	7.86	0.312	Marginal

10. GEOLOGÍA REGIONAL

En el sector sur occidental de Colombia, en la zona montañosa del Nudo de los Pastos, están activos los volcanes Chiles, Cumbal, Azufral, Doña Juana y Galeras, siendo históricamente este último el que presenta mayor número de erupciones, actividad volcánica que está asociada a la subducción de la Placa de Nazca bajo el Bloque Andino. En general estos volcanes se han constituido sobre otras estructuras volcánicas del Plioceno y sus lavas predominantes son andesitas.

En el municipio de Sandoná se presentan 6 unidades de geoformas que condicionan la estructura biofísica del territorio.

- Terrazas o depósitos coluvio – aluviales (T). Sectores medianamente planos por acción derrubios de la zona de laderas y escarpes. Los depósitos coaluviales se componen de material no homogéneo en tamaños asociados a la acción gravitatoria.
- Laderas o Escarpes (E). Esta geoforma presenta un relieve quebrado a escarpado con pendientes en su mayoría superiores al 30 % y se localiza a lo largo del río Pasto.
- Zona de Altiplano (A). Esta unidad geomorfológica se presenta en la parte central del municipio, región en donde está asentada la mayoría de la población incluida la zona urbana. El relieve característico es muy variado entre plano a fuertemente ondulado.

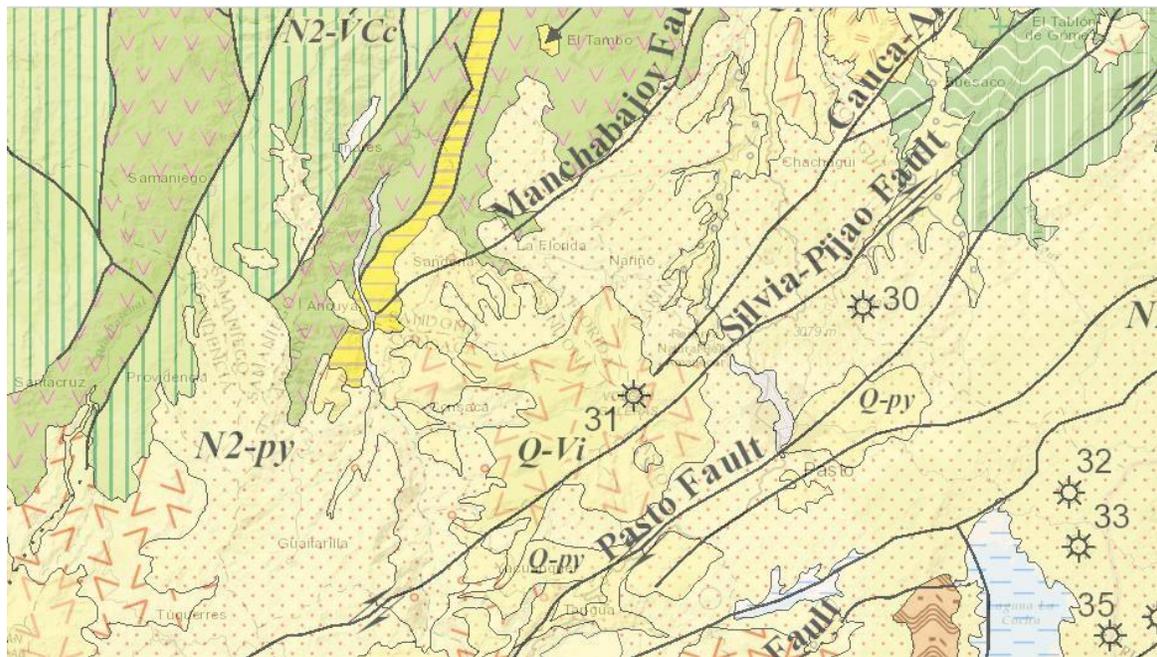
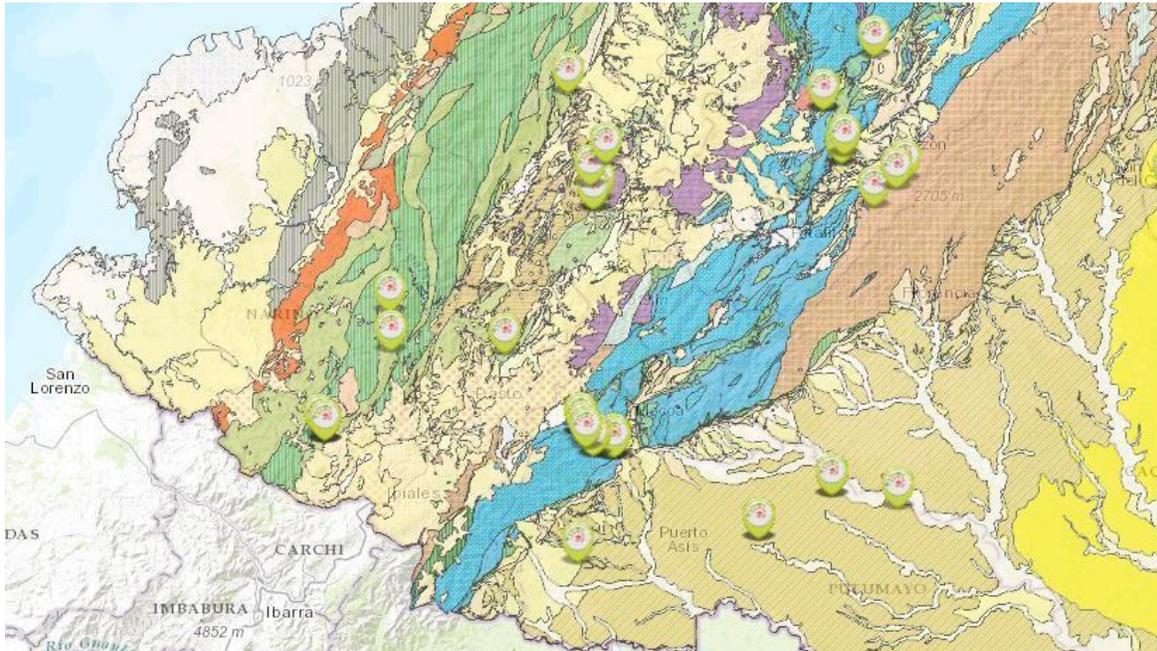
- Piedemonte (P). Esta unidad se encuentra al occidente del municipio, separando las zonas de altiplano y de montaña, región caracterizada topográficamente por presentar un relieve fuertemente ondulado ha quebrado y vinculado al proceso productivo del municipio.

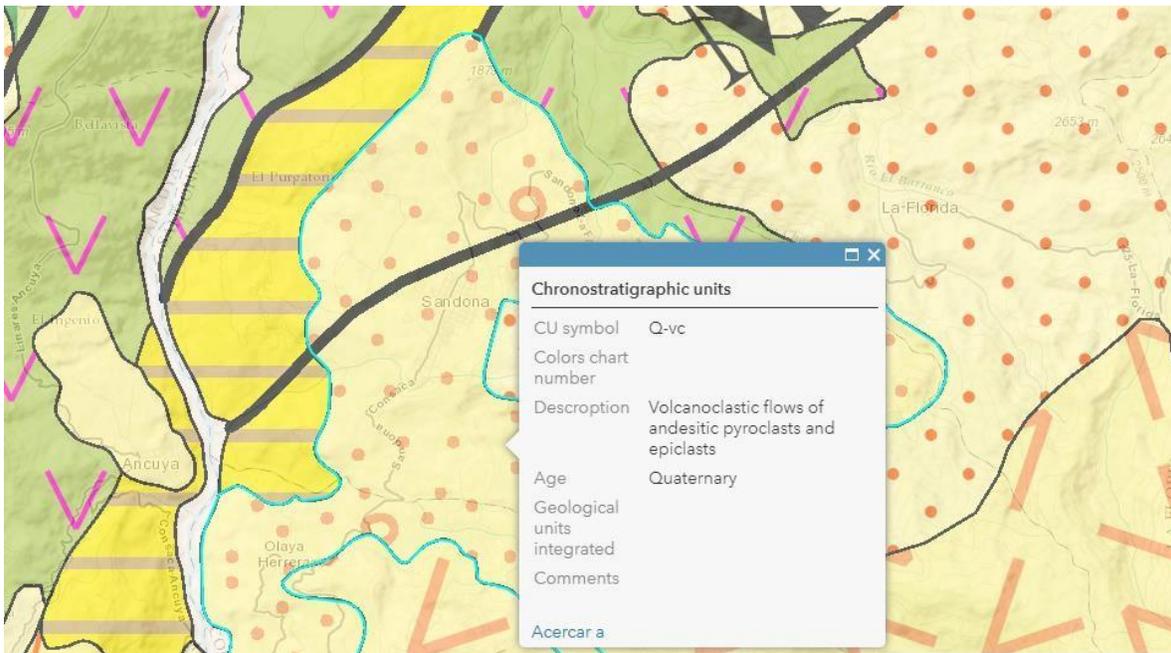
- Zona de Montaña (M). Esta geoforma de gran importancia ambiental, dado que aquí nacen las principales corrientes que abastecen a la totalidad de acueductos del municipio, domina el paisaje de la región. Topográficamente presenta un relieve fuertemente quebrado, compuesto geológicamente por material conformado por cenizas y lavas.

10.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS PRESENTES EN LA ZONA

Con el fin de conocer las formaciones geológicas presentes en la zona del donde se desarrollará el proyecto, se presenta a continuación una descripción de las mismas de acuerdo con la información disponible en el Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS:

FIGURA 2. ATLAS GEOLÓGICO DE LA ZONA DEL PROYECTO.





El municipio de Sandoná se encuentra en la unidad de suelos Q-vc; con alturas entre 1600 y 2100 msnm, el relieve es ligero y moderadamente inclinado, las tobas de ceniza y lapilli han originado suelos profundos bien drenados de grupo estructural franco fino y fertilidad alta.

Morfológicamente presenta un perfil de tipo A grueso de color gris y negro, textura franca y estructura en bloques subangulares; un perfil tipo B de acumulación de arcilla iluvial, color pardo grisáceo con recubrimiento color gris muy oscuro, texturas franco arcillosas y franco arcillo arenosas; este perfil descansa sobre el perfil tipo C, de color gris parduzco con abundantes manchas rojas y rojo amarillentas, textura franca y estructura de roca.

Los sedimentos son rocas volcánicas piroclásticas consolidadas del plio-pleistoceno y recientes (tobas de ceniza, lapilli y aglomerados). Se presentan areniscas tobáceas, con abundantes restos vegetales y arcillolitas blancas laminadas con intercalaciones de tierras diatomeas. Su origen es en esencia lacustre cuya edad pertenece al terciario y cuaternario.

10.2 GEOLOGÍA LOCAL

La vía objeto de estudio está ubicada en la zona de Altiplano presentando un relieve característico plano.

Dentro del tramo vial se encuentra el grupo ALBb correspondiente a la altiplanicie y presencia de lomerío con un clima frío húmedo y muy húmedo con pendientes entre 3 y 7% ligeramente inclinadas. Son suelos conformados a partir de cenizas volcánicas y lapilli o sobre andesitas, son

moderadamente profundos a muy profundos, limitados por fragmentos de roca, moderadamente drenados y bien drenados con fertilidad alta moderada. En un 50% poseen el tipo de suelo Pachic Melanudands, 30% el tipo de suelo Pachic Fulvudands, un 10% el tipo de suelo Vitric Hapludands y en un 10% el tipo de suelo Typic Paleudults.

El suelo Pachic Melanudands, se presenta en los bancos de las mesas dentro del paisaje de altiplanicie, comprende suelos muy profundos bien drenados y de textura franco gruesa; se han desarrollado de cenizas volcánicas sobre tobas de ceniza y lapilli. Son suelos de reacción fuerte a moderadamente acida de alta capacidad catiónica, alta saturación de bases y altos contenidos de carbono orgánico y de fertilidad alta.

El suelo Pachic Fulvudands, ocupa la posición de laderas de las mesas en la latiplanicie, son profundos bien drenados y de textura francosa fina, surgen a partir de cenizas volcánicas que yacen sobre tobas de ceniza y lapilli. Son moderadamente ácidos, de alta capacidad catiónica, alta saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico y de fertilidad alta.

El suelo Vitric Hapludands, ocupa la posición de bancos de las mesas, con suelos moderadamente profundos, limitados por fragmentos de roca bien drenados y de grupo textural francoso fino; se han desarrollado de cenizas volcánicas depositadas sobre andesitas. Tienen una reacción extremadamente acida, de alta capacidad catiónica, altos contenidos de carbono orgánico y fertilidad alta.

El suelo Typic Paleudults, está ocupando las laderas inclinadas, pero no presentan un patrón de distribución definido. Son suelos muy profundos bien drenados de texturas francas en superficie y arcillosas en profundidad. Se caracterizan por ser moderadamente ácidos con mediana capacidad catiónica, mediana saturación de bases, bajos contenidos de carbono orgánico y fertilidad moderada.

El otro grupo presente dentro del tramo vial es el MLEe, correspondiente a zona de montaña con un clima frío húmedo y muy húmedo con pendientes largas a muy largas entre el 12, 25 y 50% con un relieve fuertemente ondulado a ligeramente escarpado. Los suelos se han originado por ceniza volcánica sobre andesitas o sobre tobas de ceniza y lapilli, son muy profundos, bien drenados, muy permeables y de fertilidad baja a moderada.

Cartográficamente, esta unidad se conforma en un 50% por el tipo de suelo Acrudoxic Fulvudands, 30% por el tipo de suelo Typic Fulvudands y en un 20% por el tipo de suelo Typic Palehumults.

El suelo Acrudoxic Fulvudands, se localiza en la ladera superior de las lomas, son suelos desarrollados a partir de depósitos de ceniza volcánica que descansan sobre andesitas, se caracterizan por ser muy profundos bien drenados y de texturas franco arenosa y arenosa franca. Son suelos muy fuertemente

ácidos con alta capacidad catiónica, baja saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico y aluminio intercambiable y fertilidad baja.

11

El suelo Typic Fulvudands, se encuentran en ladera media dentro del paisaje de las lomas, son suelos desarrollados a partir de ceniza volcánica sobre tobas de ceniza y pumitas; son suelos muy profundos, bien drenados y de texturas francas a franco arcillosas. Tienen una reacción fuerte a muy fuertemente ácida, de alta capacidad catiónica, media a baja saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico y fertilidad moderada.

El suelo Typic Palehumults, están en la ladera inferior o faldas de las lomas, son profundos, bien drenados y con una textura francoso fino sobre arcilloso fino y muy fino, los cuales se desarrollan sobre tobas de ceniza y lapilli. Tienen alrededor de 20 cm de espesor y color pardo rojizo oscuro. Son suelos fuertemente ácidos de alta capacidad catiónica, baja saturación de bases, altos contenidos de carbono orgánico y fertilidad moderada.

10.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

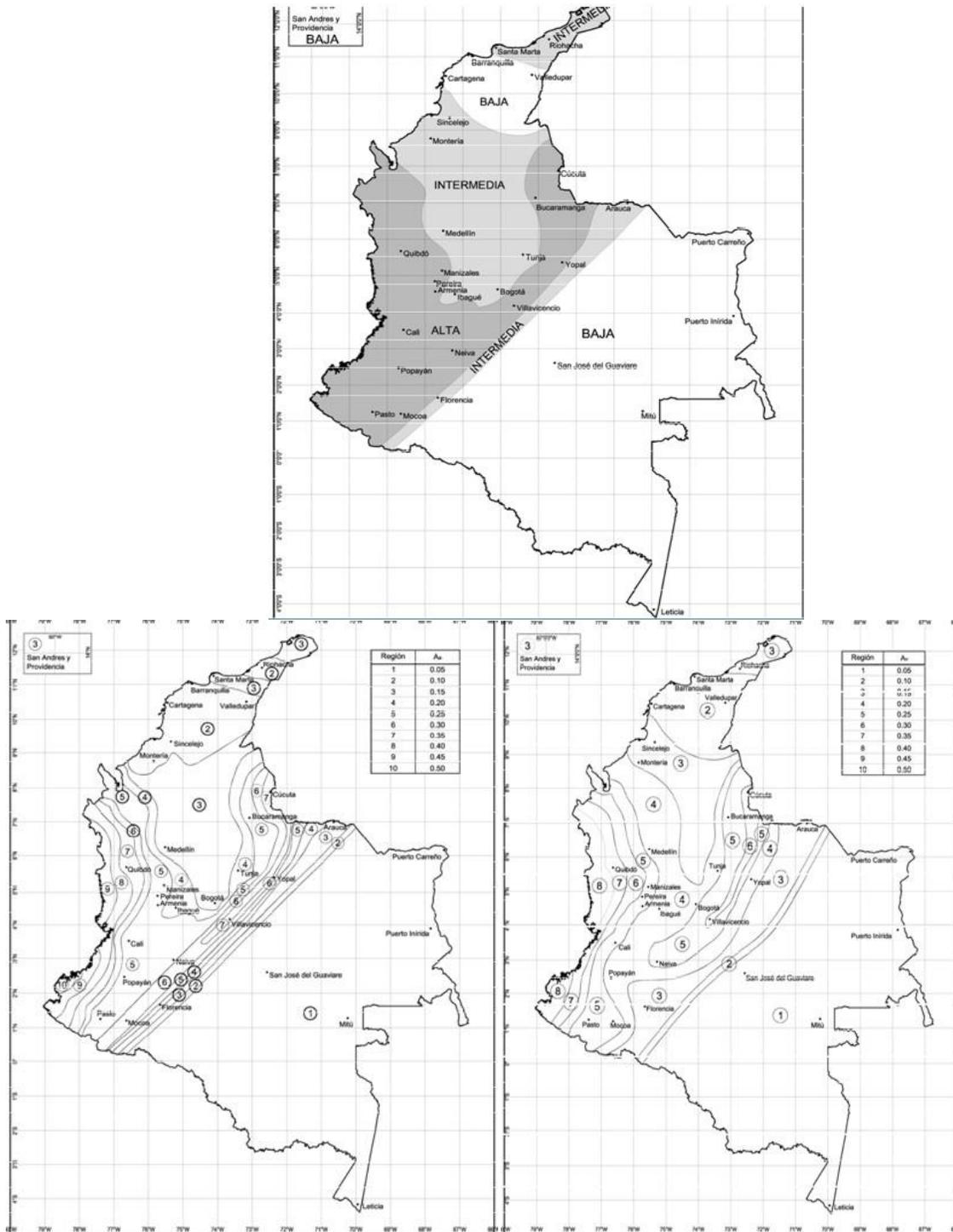
Dentro del área del proyecto se encuentra la falla de Tambo pero su actividad geológica no tiene influencia para la zona del proyecto, la zona no presenta puntos críticos geológicos.

11. CLASIFICACION SISMICA DEL SITIO

Para efectos de la aplicación del Nuevo Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 en el diseño de las estructuras proyectadas, se considerarán los siguientes parámetros para el diseño sismo resistente:

- Sandoná (Nariño) está en la Zona de amenaza sísmica alta.
 - Aa (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva) = 0.25
 - Av (coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva) = 0.25
 - Grupo de uso I (A.2.5.1.4)
 - Coeficiente de importancia = 1.0 (Tabla A.2.5-1)
 - Tipo de Perfil de suelo = D (Tabla A.2.4-1)
 - Fa (Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos debida a los efectos del sitio) = 1.30 (Tabla A.2.4-3)
 - Fv (Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios debida a los efectos del sitio) = 1.90 (Tabla A.2.4-4)
-

Figura 2. Mapas Zonas de Amenaza Sísmica



12. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

13

En el presente estudio se obtuvo la capacidad de soporte de la subrasante mediante ensayos de CBR inalterado. Para determinar la capacidad de soporte del suelo, se basa en los resultados de CBR inalterado debido a la sobre estimación de los valores de CBR obtenidos mediante correlación con ensayo de PDC.

Analizando los resultados obtenidos de CBR y de acuerdo a que la estratigrafía es constante a lo largo del tramo, se define un solo valor de CBR, que de acuerdo a la precipitación de la zona (913 mm), temperatura media (11°C), a su tránsito $>3 \times 10^6$, el CBR de diseño recomendado es de 19.4%.

Una vez se llegue a nivel de sub rasante (según diseños) se debe realizar una homogeneización y compactación del suelo para tener un apoyo firme y uniforme, además de ayudar a la búsqueda de posibles fallos.

En el proyecto se debe incluir el mejoramiento de la subrasante con adición de material, teniendo en cuenta que es posible encontrar en ejecución, zonas donde haya presencia de material de relleno (escombros) y/o material orgánico, teniéndose que reemplazar en su totalidad este material.

Durante la exploración del subsuelo no se reportó presencia de nivel de aguas freáticas.

El tratamiento y control de aguas es necesario para la preservación de la vía, por lo tanto es importante proyectar cunetas, alcantarillas y obras de drenaje donde se requieran.

Se recomienda siempre mantener protegida con materiales impermeables la subrasante para evitar su saturación o cambio de sus propiedades de resistencia.

Evitar realizar trabajos de movimientos de tierra si el suelo de subrasante se encuentra en estado de saturación, por lo tanto, para realizar estos trabajos se recomienda estar continuamente midiendo la humedad del suelo de subrasante.

La vía se encuentra, sobre una alternancia de cenizas volcánicas y depósito de origen volcánico. El material de caída, producto de la actividad eruptiva de la cadena de volcanes como el Cumbal y Chiles, se encuentra altamente evolucionado, de ahí la presencia de niveles arcillosos.

El relieve característico es muy variado entre plano a fuertemente ondulado, disectado por algunos causes profundos.

Dentro del área del proyecto se encuentra la falla de Tambo pero su actividad geológica no tiene influencia para la zona del proyecto, la zona no presenta puntos críticos geológicos.

Se considera que para el diseño de la estructura de pavimento para este tipo de vías en el municipio de Sandoná resulta más que aceptable determinar los parámetros de diseño de la subrasante con la utilización de ensayos PDC pues este tipo de ensayo es de amplia utilización no solo en el ámbito nacional sino también en otros países obteniendo resultados favorables.

Elaboró:



LUIS ALEXANDER PANTOJA CÓRDOBA
Ingeniero Civil
Matricula: 17202-119742 de C.P de Caldas
Esp. Ingeniería de Carreteras

ANEXOS

REGISTRO FOTOGRAFICO

16



17



ENSAYOS DE LABORATORIO

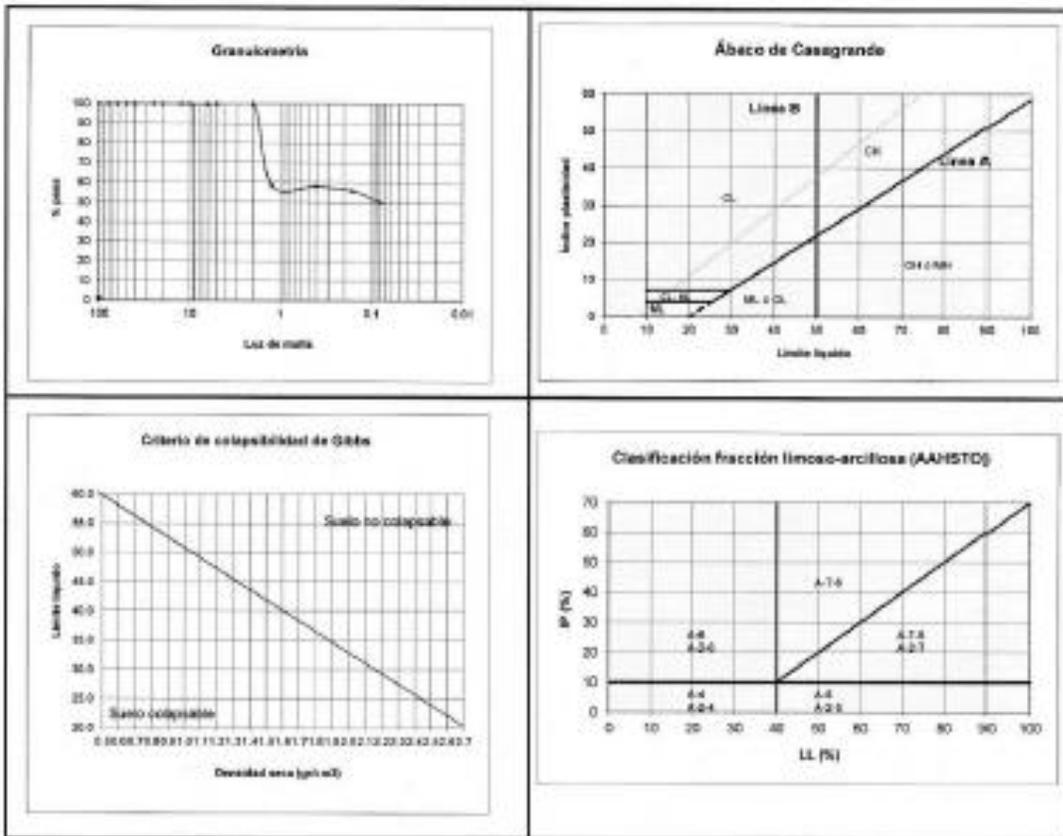
GUSTAVO BURBANO ROMO Ingeniero Civil	CLASIFICACION DE SUELOS LIMITE LIQUIDO, PLASTICIDAD Y GRADACION																																																																																																
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE LA PAVIMENTACION DE LAS VAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE SANDONÁ - DEPARTAMENTO DE NAHÚA UBICACIÓN: Carrera 4 entre Cl 1 y 3 FECHA: 08 de Agosto de 2018 SOLICITA: _____ FIGURA No: _____ MUESTRA No: _____ PROFUNDIDAD (m): 1.00 PUNTO: R00+328																																																																																																	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Suelo de partículas finas. Límite de alta plasticidad arcillosa (MH), color café claro.																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr> <td>Número de golpes</td> <td>37</td> <td>30</td> <td>22</td> <td>15</td> <td>PLASTICIDAD</td> <td>HUMEDAD</td> </tr> <tr> <td>Recipiente No.</td> <td>31</td> <td>35</td> <td>18</td> <td>14</td> <td>21</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra húmeda y recipiente gr.</td> <td>32.05</td> <td>22.62</td> <td>27.8</td> <td>37.17</td> <td>18.77</td> <td>18.77</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra seca y recipiente gr.</td> <td>30.32</td> <td>11.62</td> <td>13.08</td> <td>17.58</td> <td>10.87</td> <td>18.87</td> </tr> <tr> <td>Peso del recipiente gr.</td> <td>3.15</td> <td>3.10</td> <td>3.10</td> <td>3.30</td> <td>3.00</td> <td>3.00</td> </tr> <tr> <td>Peso del agua gr.</td> <td>18.73</td> <td>11.00</td> <td>14.72</td> <td>19.54</td> <td>7.90</td> <td>7.80</td> </tr> <tr> <td>Peso de sólidos gr.</td> <td>13.22</td> <td>8.52</td> <td>10.08</td> <td>14.43</td> <td>7.97</td> <td>7.87</td> </tr> <tr> <td>Humedad gr.</td> <td>123.52</td> <td>129.11</td> <td>134.40</td> <td>136.11</td> <td>100.00</td> <td>100.00</td> </tr> </table>	Número de golpes	37	30	22	15	PLASTICIDAD	HUMEDAD	Recipiente No.	31	35	18	14	21	21	Peso muestra húmeda y recipiente gr.	32.05	22.62	27.8	37.17	18.77	18.77	Peso muestra seca y recipiente gr.	30.32	11.62	13.08	17.58	10.87	18.87	Peso del recipiente gr.	3.15	3.10	3.10	3.30	3.00	3.00	Peso del agua gr.	18.73	11.00	14.72	19.54	7.90	7.80	Peso de sólidos gr.	13.22	8.52	10.08	14.43	7.97	7.87	Humedad gr.	123.52	129.11	134.40	136.11	100.00	100.00																																									
Número de golpes	37	30	22	15	PLASTICIDAD	HUMEDAD																																																																																											
Recipiente No.	31	35	18	14	21	21																																																																																											
Peso muestra húmeda y recipiente gr.	32.05	22.62	27.8	37.17	18.77	18.77																																																																																											
Peso muestra seca y recipiente gr.	30.32	11.62	13.08	17.58	10.87	18.87																																																																																											
Peso del recipiente gr.	3.15	3.10	3.10	3.30	3.00	3.00																																																																																											
Peso del agua gr.	18.73	11.00	14.72	19.54	7.90	7.80																																																																																											
Peso de sólidos gr.	13.22	8.52	10.08	14.43	7.97	7.87																																																																																											
Humedad gr.	123.52	129.11	134.40	136.11	100.00	100.00																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr> <th colspan="4">GRANULOMETRIA</th> </tr> <tr> <td>Peso recipiente y muestra húmeda sin lavar</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Peso muestra húmeda</td> <td colspan="3">827.3</td> </tr> <tr> <td>Recipiente No.</td> <td>65</td> <td>Peso recipiente gr.</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra seca</td> <td colspan="3">344.1</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra lavada seca lavada</td> <td colspan="3">458</td> </tr> <tr> <td>Tamaño</td> <td>Peso ret. acumulado (g)</td> <td>Peso ret. acumulado (%)</td> <td>Porcentaje que Pasa (%)</td> </tr> <tr> <td>3"</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td></td> <td></td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>1.18"</td> <td></td> <td></td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>0.84"</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>0.75"</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>0.60"</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Nº. 4</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Nº. 10</td> <td></td> <td>0.00</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Nº. 15</td> <td>142.00</td> <td>41.27</td> <td>41.3</td> </tr> <tr> <td>Nº. 40</td> <td>144.00</td> <td>41.85</td> <td>50.1</td> </tr> <tr> <td>Nº. 100</td> <td>162.00</td> <td>44.18</td> <td>55.8</td> </tr> <tr> <td>Nº. 200</td> <td>172.00</td> <td>48.88</td> <td>51.2</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td></td> <td></td> <td>100.0</td> </tr> </table>	GRANULOMETRIA				Peso recipiente y muestra húmeda sin lavar				Peso muestra húmeda	827.3			Recipiente No.	65	Peso recipiente gr.	105	Peso muestra seca	344.1			Peso muestra lavada seca lavada	458			Tamaño	Peso ret. acumulado (g)	Peso ret. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)	3"				2"			100.0	1.18"			100.0	1"		0.00	0.0	0.84"		0.00	0.0	0.75"		0.00	0.0	0.60"		0.00	0.0	Nº. 4		0.00	0.0	Nº. 10		0.00	0.0	Nº. 15	142.00	41.27	41.3	Nº. 40	144.00	41.85	50.1	Nº. 100	162.00	44.18	55.8	Nº. 200	172.00	48.88	51.2	Fondo			100.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td>Límite líquido</td> <td>% 73.66</td> </tr> <tr> <td>Límite plástico</td> <td>% 65.90</td> </tr> <tr> <td>Humedad natural</td> <td>% 94.00</td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad</td> <td>% 7.88</td> </tr> <tr> <td>Índice de liquidez</td> <td>% 0.1</td> </tr> </table>	RESULTADOS		Límite líquido	% 73.66	Límite plástico	% 65.90	Humedad natural	% 94.00	Índice de plasticidad	% 7.88	Índice de liquidez	% 0.1
GRANULOMETRIA																																																																																																	
Peso recipiente y muestra húmeda sin lavar																																																																																																	
Peso muestra húmeda	827.3																																																																																																
Recipiente No.	65	Peso recipiente gr.	105																																																																																														
Peso muestra seca	344.1																																																																																																
Peso muestra lavada seca lavada	458																																																																																																
Tamaño	Peso ret. acumulado (g)	Peso ret. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)																																																																																														
3"																																																																																																	
2"			100.0																																																																																														
1.18"			100.0																																																																																														
1"		0.00	0.0																																																																																														
0.84"		0.00	0.0																																																																																														
0.75"		0.00	0.0																																																																																														
0.60"		0.00	0.0																																																																																														
Nº. 4		0.00	0.0																																																																																														
Nº. 10		0.00	0.0																																																																																														
Nº. 15	142.00	41.27	41.3																																																																																														
Nº. 40	144.00	41.85	50.1																																																																																														
Nº. 100	162.00	44.18	55.8																																																																																														
Nº. 200	172.00	48.88	51.2																																																																																														
Fondo			100.0																																																																																														
RESULTADOS																																																																																																	
Límite líquido	% 73.66																																																																																																
Límite plástico	% 65.90																																																																																																
Humedad natural	% 94.00																																																																																																
Índice de plasticidad	% 7.88																																																																																																
Índice de liquidez	% 0.1																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr> <th colspan="2">CURVA GRANULOMETRICA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> </table>		CURVA GRANULOMETRICA																																																																																															
CURVA GRANULOMETRICA																																																																																																	

GUSTAVO BURBANO ROMO Ingeniero Civil	CLASIFICACION	SOLICITA:
Proyecto: <u>CONSTRUCCIÓN DE LA PAVIMENTACIÓN DE LAS VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE SARGOLÁ - DEPARTAMENTO DE NARIÑO</u>		FECHA: <u>08 de Agosto de 2018</u>
Localización: <u>Carrera 1 entre Cl 1 y 2</u>		
APRIQUE No: <u>3</u>	MUESTRA No: <u>1</u>	

CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO DEBIDO AROMEDA LLORENTE ENTRE CARRETERAS 11 Y 12 EN EL MUNICIPIO DE CURBELL, DEPARTAMENTO DE NARIÑO

CH
 CL
 Otros suelos

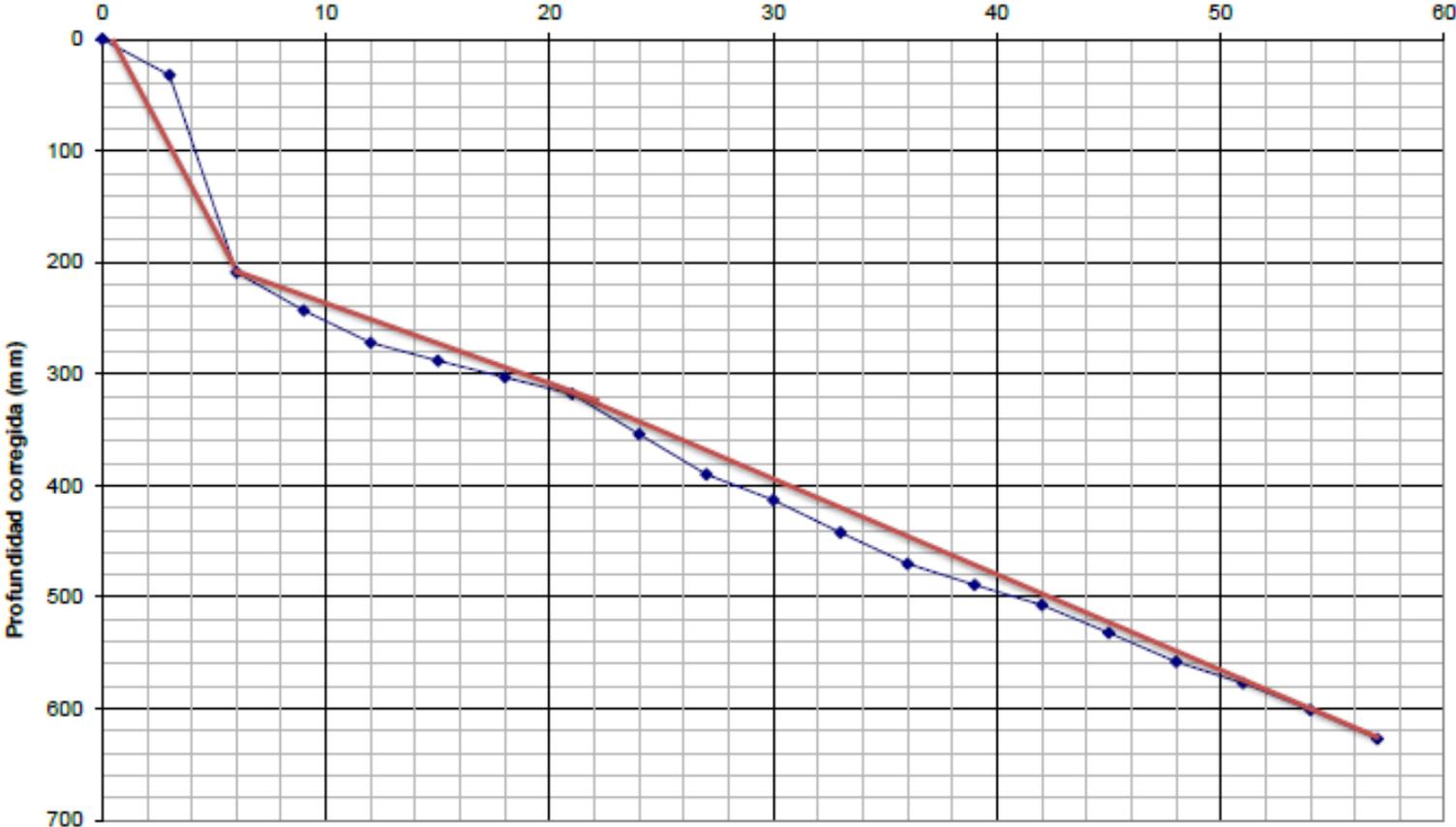
LL (%)	72.08		
LP (%)	65.00	Índice de consistencia	
IP (%)	7.08	$I_c = LL - PL$	0.881
Humedad natural (%)	94.03	Índice de liquidación	
Densidad seca ($\gamma_{d(100^\circ)}$)		U_w	0.119
HLL	1.26	Índice de compresión	
HLP		C_c^*	1.009
Colapsabilidad		Contracción lineal	
	0.50	CL (%)	14.352



CLASIFICACION	
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S.C.S.)	
Suelo de partículas finas	
Arena limosa SM	
CLASIFICACION AAHSTC	
Material limoso-arcilloso	
Pavimento a base de subgrado	
A-7.6 Suelo limoso	

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION

ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-1
golpes acumulado



ANÁLISIS ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	E-2
---	------------

PROYECTO: Pavimentación Carrera Cuarta

LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE SANDONA

TRAMO: Carrera 4 No. 3-12

DESCRIPCIÓN: Ensayo No. 2

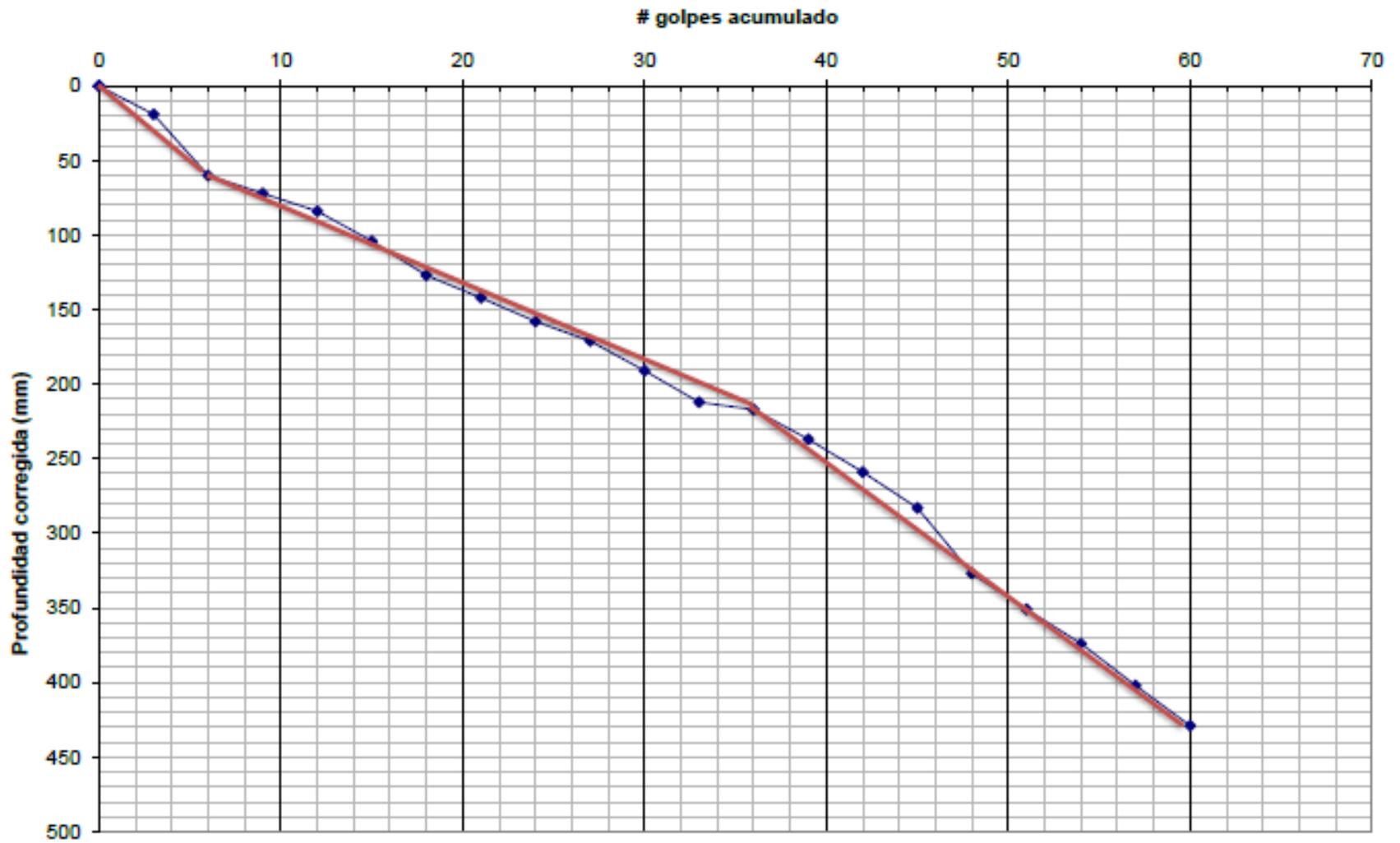
Lectura Inicial (mm): 1042

No. DE GOLPES	No. DE GOLPES ACUMULADO	PROFUNDIDAD LEIDA (mm)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (mm)	PDC (mm/golpes)	RESISTENCIA (%)	CBR
0	0	1042	0	10.00	0.000	25.0
3	3	1023	19		5.000	
3	6	982	60		10.000	
3	9	970	72	5.37	15.000	42.9
3	12	958	84		20.000	
3	15	938	104		25.000	
3	18	915	127		30.000	
3	21	900	142		35.000	
3	24	884	158		40.000	
3	27	871	171		45.000	
3	30	851	191		50.000	
3	33	830	212		55.000	
3	36	825	217		60.000	
3	39	805	237	7.33	65.000	32.7
3	42	783	259		70.000	
3	45	759	283		75.000	
3	48	715	327		80.000	
3	51	691	351		85.000	
3	54	668	374		90.000	
3	57	640	402		95.000	
3	60	613	429	100.000		

OBSERVACIONES:	* Los datos se tomaron una vez referida al adoquín existente en la vía. * El CBR calculado se realizó mediante correlaciones. (Investigación UNICAUCA)	
Ensayo realizado por:	Calculó:	Fecha:
<i>Herny Lasso Echavarría Laboratorio</i>	<i>ing. LUIS ALEXANDER PANTOJA</i>	<i>14/11/2018</i>

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION

ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-2



ANALISIS ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	E-3
---	------------

PROYECTO:	Pavimentación Carrera Cuarta
LOCALIZACIÓN:	MUNICIPIO DE SANDONA
TRAMO:	Carrera 4 No. 2 -94
DESCRIPCIÓN:	Ensayo No. 3
Lectura Inicial (mm):	1126

No. DE GOLPES	No. DE GOLPES ACUMULADO	PROFUNDIDAD LEIDA (mm)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (mm)	PDC mm/golpes	RESISTENCIA (%)	CBR
0	0	1126	0	50.33	0.000	6.1
3	3	975	151		8.333	
3	6	932	194	12.83	16.667	20.1
3	9	872	254		25.000	
3	12	855	271		33.333	
3	15	795	331	21.14	41.667	13.0
3	18	730	396		50.000	
3	21	666	460		58.333	
3	24	592	534		66.667	
3	27	535	591		75.000	
3	30	478	648		83.333	
3	33	415	711		91.667	
3	36	351	775		100.000	

OBSERVACIONES:	* Los datos se tomaron una vez referida el adoquin existente en la vía. * El CBR calculado se realizo mediante correlaciones. (Investigación UNICAUCA)	
Ensayo realizado por:	Calculó:	Fecha:
<i>Herney Lasso Echavarría Laboratorio</i>	<i>ing. LUIS ALEXANDER PANTOJA</i>	<i>14/11/2018</i>

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION
ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-3



ANÁLISIS ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	E-4
---	------------

PROYECTO:	Pavimentación Carrera Cuarta
LOCALIZACIÓN:	MUNICIPIO DE SANDONA
TRAMO:	Carrera 4 No. 2 - 26
DESCRIPCIÓN:	Ensayo No. 4
Lectura Inicial (mm):	1134

No. DE GOLPES	No. DE GOLPES ACUMULADO	PROFUNDIDAD LEIDA (mm)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (mm)	PDC mm/golpes	RESISTENCIA (%)	CBR
0	0	1134	0	29.571	0.000	9.7
3	3	1065	69		6.383	
1	4	1035	99		8.511	
1	5	1010	124		10.638	
1	6	965	169		12.766	
1	7	927	207		14.894	
1	8	900	234		17.021	
2	10	871	263		21.277	
2	12	842	292	12.703	25.532	20.3
2	14	805	329		29.787	
3	17	771	363		36.170	
3	20	732	402		42.553	
3	23	695	439		48.936	
3	26	661	473		55.319	
3	29	625	509		61.702	
3	32	588	546		68.085	
3	35	561	573		74.468	
3	38	528	606		80.851	
3	41	473	661		87.234	
3	44	436	698		93.617	
3	47	401	733		100.000	

OBSERVACIONES:	* Los datos se tomaron una vez reterida el adoquin existente en la vía. * El CBR calculado se realizo mediante correlaciones. (Investigación UNICAUCA)	
Ensayo realizado por:	Calculó:	Fecha:
<i>Herney Lasso Echavarría Laboratorio</i>	<i>ing. LUIS ALEXANDER PANTOJA</i>	<i>14/11/2018</i>

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION
ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-4



ANALISIS ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	E-5
---	------------

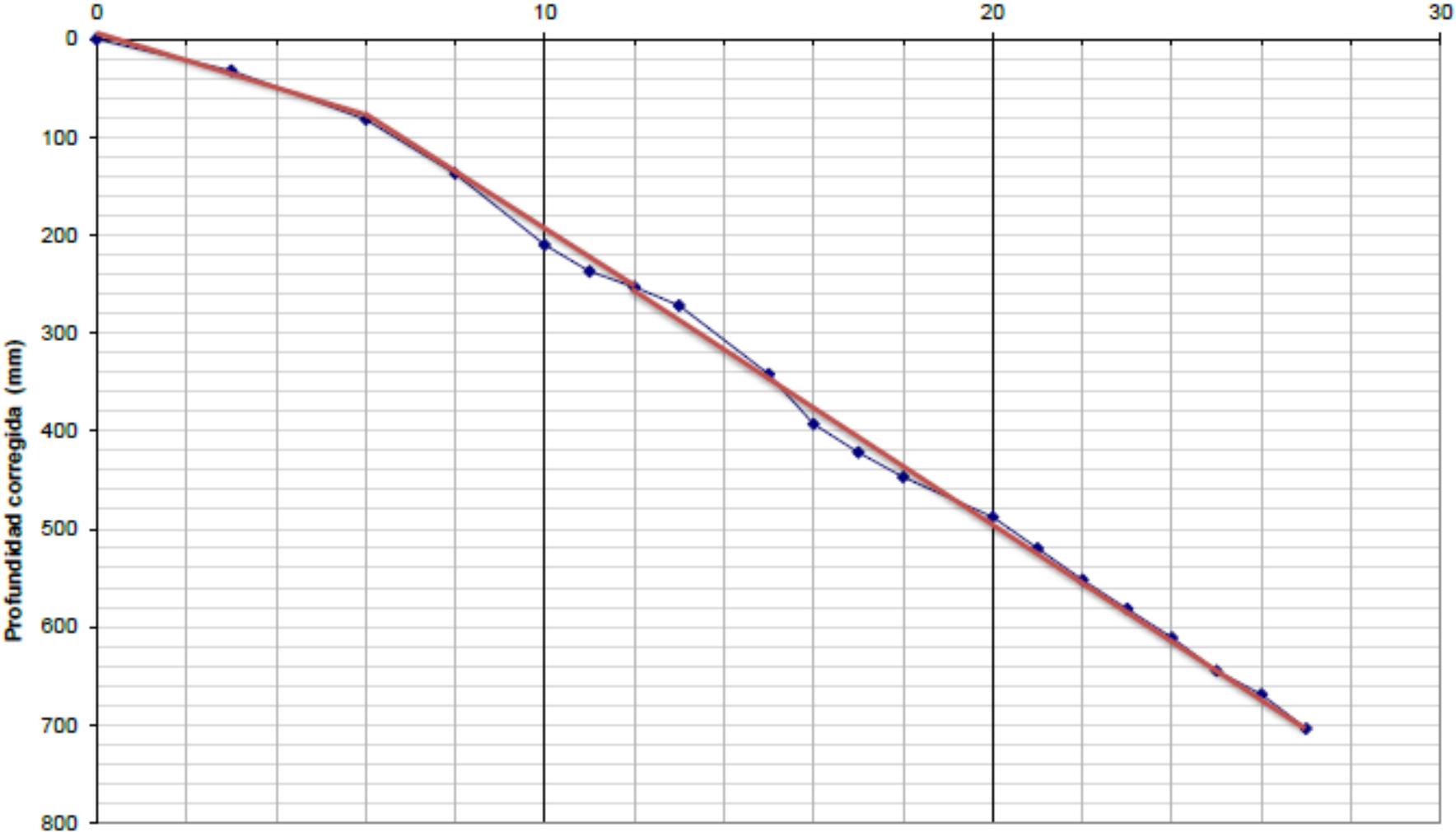
PROYECTO:	Pavimentación Carrera Cuarta
LOCALIZACIÓN:	Municipio de Sandoná
TRAMO:	Carrera 4 No. 1-85
DESCRIPCIÓN:	Ensayo No. 5
Lectura Inicial (mm):	1207

No. DE GOLPES	No. DE GOLPES ACUMULADO	PROFUNDIDAD LEIDA (mm)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (mm)	PDC mm/golpes	RESISTENCIA (%)	CBR
0	0	1207	0		0.000	
3	3	1175	32	13.67	10.714	19.0
3	6	1125	82		21.429	
2	8	1070	137	29.00	28.571	9.9
2	10	997	210		35.714	
1	11	970	237		39.286	
1	12	954	253		42.857	
1	13	935	272	31.27	46.429	9.3
2	15	865	342		53.571	
1	16	814	393		57.143	
1	17	785	422		60.714	
1	18	760	447		64.286	
2	20	719	488		71.429	
1	21	687	520		75.000	
1	22	655	552		78.571	
1	23	625	582		82.143	
1	24	596	611		85.714	
1	25	562	645		89.286	
1	26	538	669		92.857	
1	27	503	704	96.429		
1	28	466	741	100.000		

OBSERVACIONES:	* Los datos se tomaron una vez reterida el adoquin existente en la vía. * El CBR calculado se realizo mediante correlaciones. (Investigación UNICAUCA)	
Ensayo realizado por:	Calculó:	Fecha:
<i>Herney Lasso Echavarría Laboratorio</i>	<i>ing. LUIS ALEXANDER PANTOJA</i>	<i>14/11/2018</i>

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION
ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-5

golpes acumulado



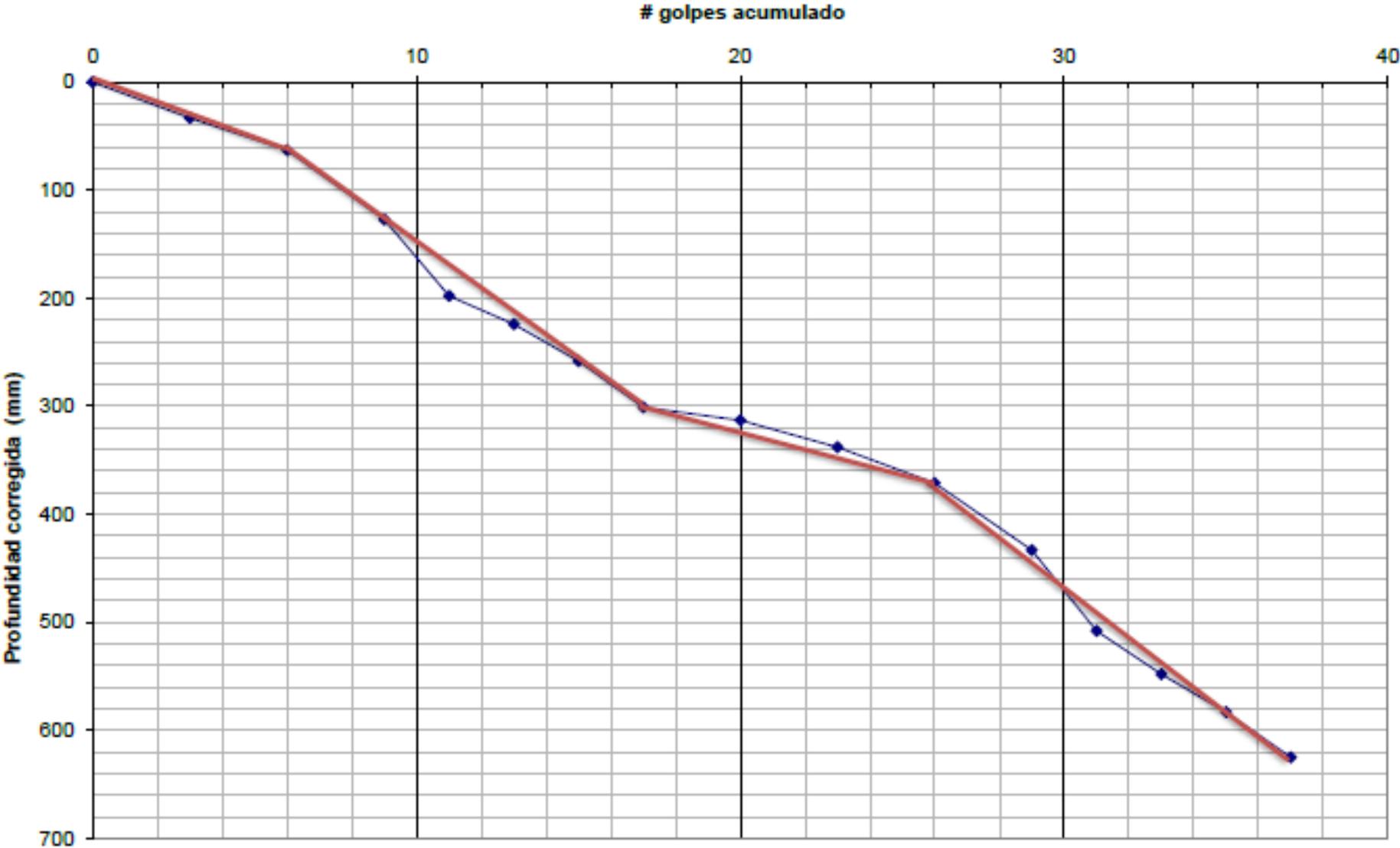
ANÁLISIS ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO	E-6
---	------------

PROYECTO:	Pavimentación Carrera Cuarta
LOCALIZACIÓN:	MUNICIPIO DE SANDONA
TRAMO:	Carrera 4 No. 2 - 24
DESCRIPCIÓN:	Ensayo No. 6
Lectura Inicial (mm):	1098

No. DE GOLPES	No. DE GOLPES ACUMULADO	PROFUNDIDAD LEIDA (mm)	PROFUNDIDAD CORREGIDA (mm)	PDC mm/golpes	RESISTENCIA (%)	CBR
0	0	1098	0		0.000	
3	3	1065	33	10.50	8.108	23.9
3	6	1035	63		16.216	
3	9	971	127		24.324	
2	11	900	198	21.75	29.730	12.7
2	13	874	224		35.135	
2	15	840	258		40.541	
2	17	797	301		45.946	
3	20	785	313	9.67	54.054	25.7
3	23	760	338		62.162	
3	26	727	371		70.270	
3	29	665	433		78.378	
2	31	590	508	24.00	83.784	11.7
2	33	550	548		89.189	
2	35	515	583		94.595	
2	37	473	625		100.000	

OBSERVACIONES:	* Los datos se tomaron una vez reterida el adoquin existente en la vía. * El CBR calculado se realizo mediante correlaciones. (Investigación UNICAUCA)	
Ensayo realizado por:	Calculó:	Fecha:
<i>Herney Lasso Echavarría Laboratorio</i>	<i>ing. LUIS ALEXANDER PANTOJA</i>	<i>14/11/2018</i>

GRAFICA DE LA EVOLUCION DE LA PENETRACION
ENSAYO DE PENETROMETRO DINAMICO DE CONO E-6



ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DE PDC				
ENSAYO	UBICACIÓN DE LA VIA	PROFUNDIDAD	CBR	CBR ELEGIDO
		mm		
E-1	El Sondeo se ubica "TRANSANDONA"	0	8.4	29.4
		209	37.6	
		318	29.4	
		627		
E-2	Carrera 4 No. 3-12	0	25.0	32.7
		60	42.9	
		217	32.7	
		429		
E-3	Carrera 4 No. 2 -94	0	6.1	13.0
		151	20.1	
		271	13.0	
		775		
E-4	Carrera 4 No. 2 - 26	0	9.7	20.3
		234	20.3	
		733		
E-5	Carrera 4 No. 1-85	0	19.0	9.3
		82	9.9	
		253	9.3	
		741		
E-6	Carrera 4 No. 2 - 24	0	23.9	11.7
		63	12.7	
		301	25.7	
		371	11.7	
		625		

**Anexo 6: Estudio de
Transito Pavimento
Municipio de
Sandoná**

Octubre 8 de 2018

ESTUDIO DE TRANSITO

CONSTRUCCION DE PAVIMENTO RIGIDO EN CARRERA CUARTA ENTRE
LA INTERSECCIÓN CON LA VÍA CIRCUNVALAR Y LA CALLE 4 DEL
MUNICIPIO DE SANDONA, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.



ELABORÓ:

LUIS ALEXANDER PANTOJA

Ingeniero Civil

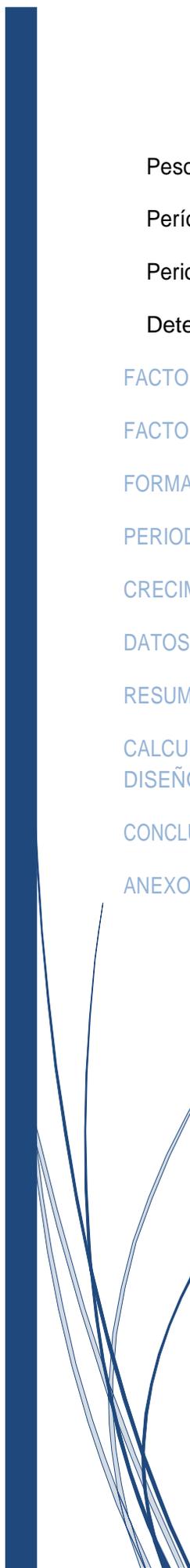
Matricula: 17202-119742 de C.P de Caldas

Esp. Ingeniería de Carreteras

TABLA DE CONTENIDO

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
METODOLOGÍA.....	7
MÉTODOS DE CONTEO.....	7
PERIODOS DE CONTEO.....	7
DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES	7
Volumen de tránsito.....	7
Tránsito anual (TA).....	7
Tránsito semanal (TS).....	7
Tránsito diario (TD).....	7
Tránsito horario (TH).....	7
Tasa de flujo (q).....	7
Tránsito promedio diarioanual (TPDA).....	8
Tránsito promedio diariosemanal (TPDS).....	8
Volumen horario delproyecto (VHP).....	8
Los vehículos automotores	8
Clasificación de los vehículos	8
Tipo A.....	9
Tipo B.....	9
Tipo C.....	9
Descripción del tipode vehículos	12
Dimensiones y peso de los vehículos	14

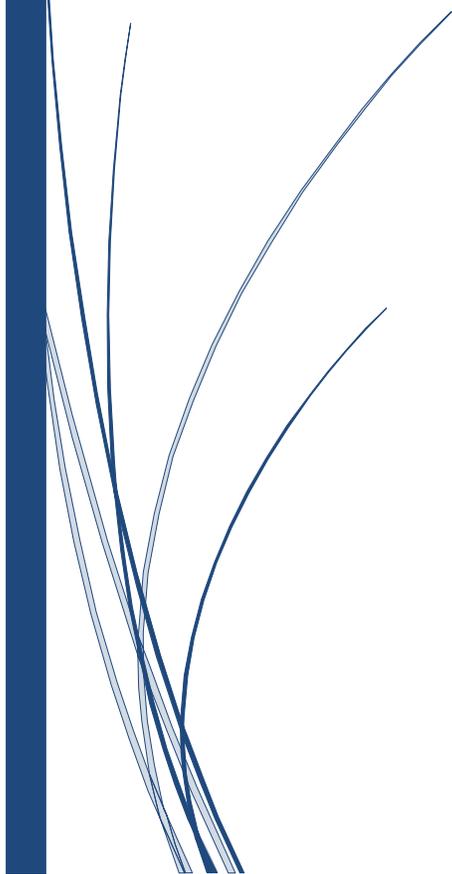
Peso Vehicular y peso por eje	15
Período inicial de proyecto del pavimento	16
Periodo de Diseño	17
Determinación de la clase de tránsito en función del tipo de vía	17
FACTORES DE DAÑO POR TIPO DE VEHÍCULO	18
FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL	19
FORMATO DE CAMPO PARA EL REGISTRO DE VOLÚMENES VEHICULARES	20
PERIODO DE DISEÑO Y VIDA ÚTIL	20
CRECIMIENTO	20
DATOS HISTÓRICOS DE LOS ÚLTIMOS 20 AÑOS	21
RESUMEN CONTEO TRANSITO VEHICULAR	25
CALCULO DEL NÚMERO TOTAL DE VEHÍCULOS Y EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL CARRIL DE DISEÑO	26
CONCLUSIONES	28
ANEXOS	29



ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

El presente estudio de tránsito se realiza para cuantificar la clase y el número de vehículos que circulan en las vías urbanas del municipio de Sandoná, el cual está ubicado al suroccidente de la capital de Nariño (San Juan de Pasto) próximo al volcán Galeras, el clima predominante de la región es cálido con una altitud de 1848 m.s.n.m, la temperatura que oscila entre los 19.2 °C y 20.5 °C, la precipitación media mensual es de 150 mm. Se debe tener en cuenta que estas vías han sido afectadas considerablemente por la atracción de vehículos al casco urbano en especial en esta zona que es la zona artesanal del municipio siendo acceso obligado de los vehículos debido a que se intersecta con la vía denominada Circunvalar del Galeras.

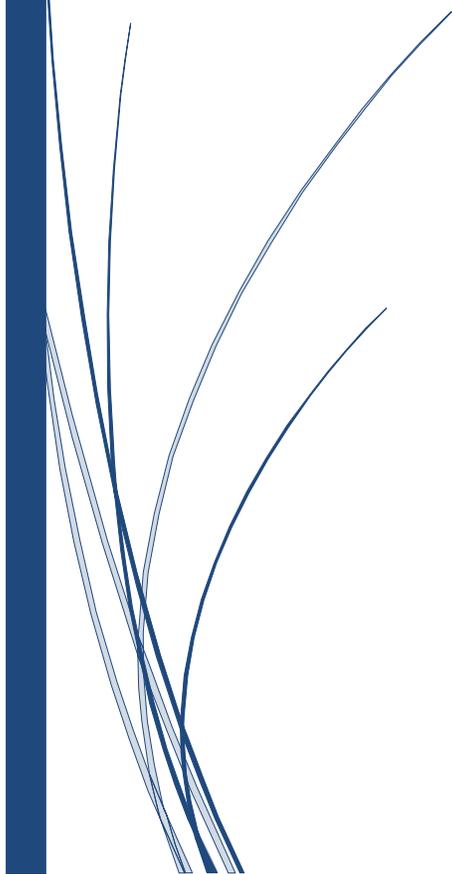
La vía objeto de estudio está compuesta por una estructura de pavimento articulado (adoquines), estructura que en algún momento fue retirada para adelantar obras de alcantarillado y posterior se realizó la reposición de los mismos adoquines. Con este proyecto se pretende reemplazar la estructura actual por una de pavimento rígido.



JUSTIFICACIÓN

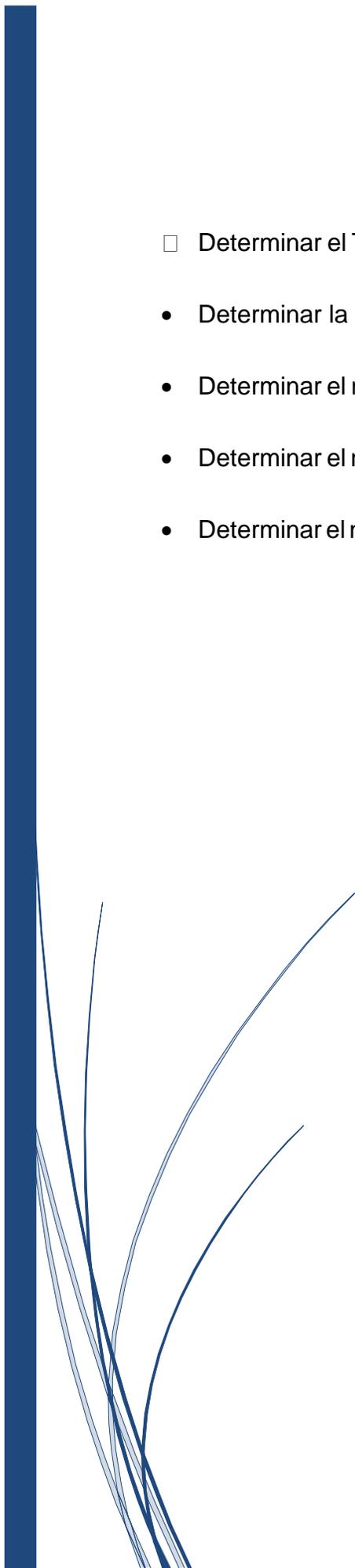
Considerando que el tránsito es la variable más importante en el diseño de una estructura de pavimento sea flexible o rígido es de vital importancia adoptar un método directo o indirecto que nos permita cuantificar el tránsito teniendo en cuenta que el mejor método es el primero, ya que nos permite obtener resultados más confiables pero no exactos, de igual manera estos métodos resultan costosos, por lo cual, en el presente documento encontraremos un estudio que se basa en conteos realizados vía aledañas al proyecto las cuales contarán con un tránsito semejante al que circulará por las vías objeto de estudio. El conteo se realiza tres días de los cuales incluyen un día de mercado.

Para el presente estudio es posible analizar la estación de conteo del INVIAS 711 – CRUCERO-VERACRUZ- MOTILÓN, la cual hace parte de zona de influencia del proyecto y nos permitirá obtener el crecimiento vehicular de la zona, variable importante para realizar las proyecciones vehiculares del tránsito a futuro.



OBJETIVOS

- Determinar el Transito promedio diario.
- Determinar la composición vehicular.
- Determinar el número de vehículos en el carril de diseño.
- Determinar el número total de vehículos en el periodo de diseño.
- Determinar el número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el carril de diseño.



METODOLOGÍA

MÉTODOS DE CONTEO

El método de conteo se realizará directamente en el campo utilizando aforadores en un sitio que permita determinar la cantidad y la clasificación vehicular (autos, buses y camiones).

PERIODOS DE CONTEO

Para el proyecto de la referencia se realizó un conteo durante 3 días de los cuales uno fue día de mercado y dos días normales, en donde no se presentaron eventos especiales. Los conteos se realizar durante 17 horas continuas.

DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES

Volumen de tránsito: Se define como el número de vehículos que pasan por la sección transversal de una vía en un periodo específico de tiempo.

Tránsito anual (TA). Es el número total de vehículos que pasan durante un año por una sección transversal de una vía.

Tránsito semanal (TS). Es el número total de vehículos que pasan durante una semana por una sección transversal de una vía.

Tránsito diario (TD). Es el número total de vehículos que pasan durante un día por una sección transversal de una vía.

Tránsito horario (TH). Es el número total de vehículos que pasan durante una hora por una sección transversal de una vía.

Tasa de flujo (q). Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora, expresado en vehículos por hora.

Tránsito promedio diario anual (TPDA). Representa el valor promedio de los volúmenes de tránsito que circulan en 24 horas durante un año.

Tránsito promedio diario semanal (TPDS). Representa el valor promedio del tránsito diario, obtenido con base en el tránsito semanal.

Volumen horario del proyecto (VHP). Es el volumen de tránsito horario que se utiliza para determinar las características geométricas de la vía.

Los vehículos automotores

Un pavimento se construye con la finalidad de brindar unas condiciones de circulación cómoda, segura y económica para el tránsito que circulará en ella. En consecuencia, su diseño implica la estimación del número y características de los vehículos que, de una manera razonablemente previsible, puedan moverse sobre él. Los aforos de tránsito que realiza el Instituto Nacional de Vías en las carreteras nacionales consideran tres tipos de vehículos: livianos, buses y camiones, discriminando estos últimos por el tamaño y su número de ejes. Por las carreteras secundarias y terciarias podrán circular también estos vehículos, por supuesto que en menor cantidad y con mayor limitación de los camiones más grandes, pero también debe contemplarse la posibilidad, que puede ser frecuente en algunas vías, de la circulación de vehículos del tipo tractor, con o sin remolque.

Para el diseño del pavimento sólo tienen interés los vehículos pesados (buses, camiones, tractores con remolque), considerando como tales aquellos cuyo peso excede de 5 toneladas. Este tipo de vehículos coincide sensiblemente con los de 6 o más ruedas. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles, camperos, camionetas, tractores sin carga) provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

Clasificación de los vehículos

Teniendo en cuenta la resolución 4100 de 2004, expedida por el Ministerio de Transporte la clasificación para efectos del diseño estructural de pavimentos se clasifica de la siguiente manera:

Tipo A

Según la clasificación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en esta categoría se encuentran los automóviles, camperos, camionetas, y microbuses.

Tipo B

Según la clasificación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en esta categoría se encuentran las busetas y los buses.

Tipo C

Según la clasificación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) registrado en la resolución 4100 del 2004, los vehículos de carga se designan de acuerdo con la configuración de sus ejes de la siguiente manera:

- Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión (Cabezote).
- La letra S significa semiremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes

La diferencia entre el semiremolque y el remolque radica en que el primero le transmite parte de la carga a la unidad tractora y el segundo transmite toda la carga al pavimento a través de sus propias llantas.

La anterior clasificación la podemos observar de manera más clara en la figura 1.1

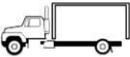
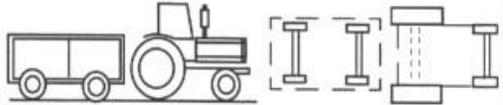
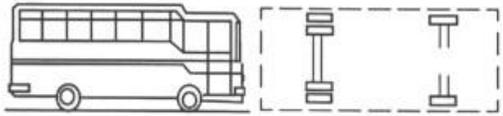
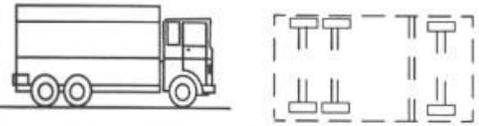
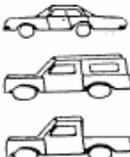
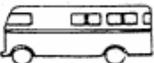
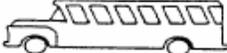
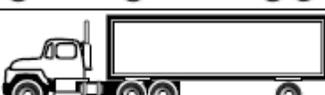
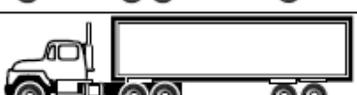
Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Doble tracción
3S2		Tractocamión de tres ejes con semiremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semiremolque de tres ejes

Figura 1.1. Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país (fuente: resolución 4100 de 2004)

TIPO DE VEHICULO		
VEHICULOS DE MENOS DE SEIS RUEDAS (NO se tiene en cuenta para el diseño)	MOTOCICLETAS	
	AUTOMOVILES	
	CAMIONETAS Y CAMPEROS	
	TRACTORES SIN REMOLQUE	
VEHICULOS DE SEIS O MAS RUEDAS (se tiene en cuenta para el diseño)	TRACTORES CON REMOLQUE	
	BUSES	
	CAMIONES	

Fuente: Manual de diseño de pavimentos Asfálticos con bajos volúmenes de tránsito Instituto Nacional de vías.

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE	
C3 Y C4	CAMION C3	
	CAMION C4	
	TRACTO-CAMION C2-S1	
	TRACTO-CAMION C2-S2	
	TRACTO-CAMION C3-S1	
C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
> C5	TRACTO-CAMION C3-S3	

Clasificación Vehicular en Colombia anterior (MOPT).

Descripción del tipo de vehículos

Según su funcionalidad los vehículos se clasifican en:

- Automóviles
 - Buses
 - Camiones
 - Motocicletas
 - Bicicletas
- Vehículos de tracción animal
- Vehículos especiales

Automóviles. Vehículos de 2 ejes y 4 ruedas, destinados al transporte de pocas personas y sus equipajes. Se pueden subdividir en particulares, de alquiler, taxis y otros, de acuerdo con las modalidades de uso o destino. Pertenecen a esta clase también los vehículos destinados al transporte de mercancías livianas y en ocasiones se incluyen los microbuses destinados al transporte de un número reducido de personas. Los automóviles forman la parte más importante del parque vehicular de todos los países e incluyen muy diferentes modelos. Por su porcentaje en el tránsito total, sus características son prioritarias al determinar las condiciones geométricas de las vías y en el establecimiento de ordenaciones del tránsito.

Buses. Vehículos de 2 ejes y de 4 o 6 ruedas, destinados al transporte colectivo de personas y sus equipajes. Debido a su tamaño y peso, generalmente llevan el eje trasero con ruedas dobles. Por sus características se asemejan a los camiones, aunque su peso total es menor y su velocidad de marcha mayor.

Camiones. Vehículos de 2 o más ejes y de 4 o más ruedas, destinados al transporte de carga superior a 2 toneladas. Se excluyen de esta clasificación a las camionetas de reparto o de carga liviana, que como se mencionó se agrupan en los vehículos tipo automóvil. Los camiones

constituyen un porcentaje importante del parque automotor, usualmente mayor en países poco motorizados que en los de motorización mayor.

Su tamaño y capacidad son muy variables. Los más frecuentes son los vehículos rígidos de 2 ejes que suelen llevar pesos de hasta 20 toneladas (y aún mayores en vehículos destinados a transportes especiales, como materiales de obra). Para cargas mayores se utilizan vehículos rígidos de 3 y 4 ejes, vehículos articulados constituidos por un tractor y un semi-remolque, o trenes de carretera formados por un camión normal y uno de 2 remolques. Con estos vehículos se alcanzan pesos totales de 40 y hasta 50 toneladas.

Este grupo de vehículos tiene gran importancia en el diseño de carreteras, fundamentalmente en su pavimento y en las estructuras viales, ya que las cargas que representan son las mayores a las que va a estar sometida la vía. También condicionan los gálibos de los puentes e influyen notoriamente en la capacidad de la vía por sus velocidades muy inferiores a las de los vehículos livianos. Los más voluminosos y pesados, aunque forman una parte reducida del parque automotor total, realizan viajes largos y frecuentes, por lo que influyen de modo importante en el transporte de mercancías y en la circulación por carretera.

Motocicletas. Vehículos de 2 ejes 2 o 3 ruedas, destinados al transporte individual de 1 o 2 personas. Se incluyen usualmente en este tipo de vehículos las motocicletas con o sin remolque, las motonetas, los motocarros y otros triciclos con motor.

En general, realizan viajes cortos y su recorrido medio anual es claramente inferior al de los restantes tipos de vehículos de motor.

Bicicletas. Vehículos de 2 ejes y 2 ruedas destinados al transporte individual de 1 o 2 personas, impulsados por la fuerza del conductor o por motores de poca potencia, de cilindraje no superior a 50cc. Su número disminuye al aumentar la motorización, aunque todavía se encuentran en elevada proporción en ciudades muy planas y en determinadas zonas agrícolas.

Se utilizan generalmente para recorridos cortos. No suelen influir de modo importante en la capacidad de las vías, aunque si aumenta con su presencia considerablemente el peligro de accidentes.

Vehículos de tracción animal. Vehículos de 2 ejes y 4 ruedas destinados al transporte de carga liviana, impulsados por la fuerza de un animal y guiados por un conductor. Se destaca su baja velocidad, lo que generalmente ocasiona deterioro en el nivel de servicio de la vía.

Vehículos especiales. El transporte de elementos de dimensiones o pesos anormales exige el empleo de medios de transporte excepcionales. Como este tipo de transporte no es muy frecuente, usualmente no se tiene en cuenta al proyectar una vía; por ello, los vehículos especiales de gran peso o volumen, que realizan este transporte, han de adaptar sus itinerarios a aquellas vías que pueden soportar su paso, necesitando un permiso especial de circulación, en el que se detalla el itinerario autorizado y las medidas que será necesario adoptar (refuerzo de puentes, despeje de zonas laterales, incluso construcción de pavimentos especiales, etc.) para permitir su paso.

Dimensiones y peso de los vehículos

Las dimensiones y peso de los vehículos son datos fundamentales para el diseño de una vía. Determinadas características geométricas de la vía tales como el ancho de la calzada, gálibos, etc., y de sus instalaciones auxiliares como los estacionamientos, condicionan las dimensiones de los vehículos que puedan utilizarlas. Recíprocamente estas dimensiones hacen necesarias unas características geométricas mínimas en las vías. Por otro lado, el peso total de los vehículos y su reparto entre sus ejes, afecta a los pavimentos y estructuras viales; su conocimiento es necesario para un correcto diseño.

Existen limitaciones legales en todos los países, relativas a dimensiones y pesos máximos, y así mismo existen algunas diferencias entre las reglamentaciones respectivas. Sin embargo, se manifiesta una fuerte tendencia para conseguir la uniformidad internacional o al menos a nivel regional.

Existen algunos vehículos que superan las dimensiones máximas legales, como ocurre con los vehículos de transporte de materiales en obras (vehículos especiales), y que no son destinados a circular por vías públicas.

Las limitaciones legales relativas a pesos, se refieren a pesos totales de vehículos cargados y a cargas máximas por eje. Los límites de peso total se establecen de acuerdo con el tipo de vehículo y con el tipo y número de ejes.

Con frecuencia en muchos países los grandes camiones circulan con cargas superiores a las legalmente permitidas. Estos excesos de carga acortan notablemente la vida de los pavimentos, de los propios vehículos y de las estructuras (especialmente los puentes), por lo que es imprescindible una labor de vigilancia que evite estos excesos de carga.

Peso Vehicular y peso por eje

Los vehículos, transmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas, que como se dijo, están dispuestas en ejes. El Ministerio del Transporte, a través de la resolución 4100 de 2004 reglamenta el peso que pueden transmitir tanto los vehículos, como los diferentes ejes de carga. En la Tabla 1-1 se registra la información sobre la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en el país de acuerdo con esta resolución; en la Figura 1.2 se indica la carga máxima para los ejes más frecuentes.

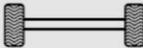
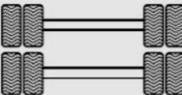
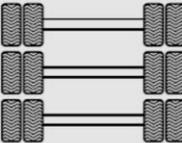
Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6.0
Eje simple llanta doble		11.0
Eje tándem llanta doble		22.0
Eje tridem llanta doble		24.0

Figura 1.2. Esquemización de los diferentes tipos de ejes y su carga máxima (fuente: resolución 4100 de 2004)

Período inicial de proyecto del pavimento

Se puede definir como tal, al lapso transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad. Conviene recordar que, a la luz del conocimiento actual, el diseño de un pavimento constituye un complejo problema físico-estructural donde se interrelacionan variables tan diversas como los suelos de soporte, los materiales de construcción, las cargas del tránsito, la geometría de las calzadas, las variables ambientales, la calidad de la construcción y del mantenimiento, etc.

En consecuencia, de la tradicional definición de una sección estructural inicial para un “periodo de diseño” fijo, establecido de manera más o menos arbitraria, se ha pasado a la concepción de estrategias a mediano plazo, es decir, diseños optimizados que incluyen y analizan no sólo la construcción inicial, sino también la mejor combinación de materiales, políticas de construcción y mantenimiento rutinario, ciclos de refuerzo y rehabilitación y costos inherentes a los usuarios. El manejo de estas funciones involucra la operación de numerosas variables que en la práctica se ven acotadas por las limitaciones impuestas por los proyectistas y, principalmente, por los fondos disponibles, aspecto este último de particular importancia. El diseñador se encuentra, entonces, ante la posibilidad de seleccionar diseños iniciales muy débiles que reclaman varios ciclos de refuerzo, y pavimentos robustos que prácticamente no requieren ningún refuerzo durante un periodo prolongado. Así, el que pudiera denominarse “diseño integral” de un pavimento, suele implicar la consideración de varios ciclos en los que el sistema es repetidamente analizado. El primero de estos ciclos es el que se define como periodo inicial de proyecto, correspondiendo los siguientes a ciclos de refuerzo o rehabilitación; en el primero se establece la sección típica y los materiales para la estructura inicial, para un comportamiento anticipado y una vida limitada por las restricciones que impone el proyectista.

Cualquiera sea la alternativa adoptada, el periodo inicial de proyecto sólo se podrá cumplir manteniendo un nivel aceptable de transitabilidad, si durante este periodo se han realizado

operaciones rutinarias de mantenimiento, por lo tanto, ha de entenderse que ellas están implícitas en el diseño de la estructura.

El ingeniero encargado del mantenimiento, el planificador y el administrador deberán analizar, con el transcurso del tiempo y a la luz de la evolución del tránsito y del comportamiento del pavimento, así como del desarrollo tecnológico, diferentes estrategias de refuerzo para prolongar la vida útil de las calzadas y preservar el patrimonio vial bajo su custodia.

Periodo de Diseño

Teniendo en cuenta el Manual de diseño para pavimentos rígidos INVIAS, los pavimentos se diseñan para que duren un determinado número de años dependiendo del tipo escogido y de algunas condiciones económicas. Por las características funcionales de los pavimentos de concreto, se recomienda que el período de diseño sea igual o superior a los 20 años.

Por su parte la vida útil es el número de años en que el pavimento está en condiciones de permitir la circulación de los vehículos en unas condiciones buenas de operación.

Determinación de la clase de tránsito en función del tipo de vía

Aunque algunas vías se pudiesen considerar de baja intensidad de tránsito pesado y no suele tener mayor importancia, el diseñador no deberá ignorar el hecho de que la carretera puede atraer y generar tránsito por el beneficio de la pavimentación. Si entre dos puntos existen caminos alternativos y en uno de ellos se mejoran las condiciones de circulación, los vehículos tenderán a circular más por él; así mismo, al mejorar las condiciones de transitabilidad por una determinada zona, hay mayores posibilidades para su desarrollo (urbanismo, creación de industrias, etc.), las cuales implicarán generación de tránsito. En tales eventualidades, el ingeniero deberá efectuar las adiciones que considere pertinentes al tránsito tradicional e históricamente previsible de vehículos pesados.

No suelen existir estadísticas sobre distribución del tránsito en carreteras de bajo volumen de tránsito y meno para vías urbanos, pero el diseño de su pavimento tampoco exige un alto grado de fineza en este sentido. Basta con considerar adecuadamente sus variaciones semanales y

de temporada. Los días de mercado representan una proporción importante del tránsito pesado semanal y su efecto se puede compensar mediante dos conteos, uno en un día corriente y otro durante el día de mercado. Como estas carreteras prácticamente no tienen tránsito nocturno, conteos de 16 horas (de 6 a.m. a 10 p.m.) resultan normalmente adecuados y precisos. La temporada agrícola también tiene gran incidencia. Durante y después de las cosechas se presenta un considerable aumento en el tránsito de vehículos pesados, el cual deberá tener en cuenta el diseñador.

Como para efectos del diseño el tránsito requerido es del año inicial de servicio, el valor obtenido en los cálculos deberá proyectarse hasta dicho año. Para ello se podrá tomar una tasa de proyección representativa de las vías de la región.

FACTORES DE DAÑO POR TIPO DE VEHÍCULO.

Los factores de daño se indican en la Tabla 2.4, será con los cuales se efectuará los cálculos para determinar el número ejes equivalentes de 80 kN.

Los Factores de Daño (FD) indicados son el resultado del análisis de las cargas por eje de aproximadamente trescientos mil vehículos evaluados en los operativos de pesaje realizados por el INVIAS en vías que se encuentran a su cargo durante el período 2000-2006.

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacio	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías

Investigaciones en el año 2012 financiadas por el INVIAS y la Universidad del Norte han reportado en sus publicaciones los siguientes datos para Factores Camión:

<i>Tipo de camión</i>	<i>FC-1996 (INVIAS)</i>	<i>FC-2003 (INVIAS)</i>	<i>FC-2012</i>
C2	3,44	2,15	2,29
C3	3,76	3,15	3,91
C2-S2	3,42	2,27	2,44
C3-S2	4,4	4,21	3,66
C3-S3	4,72	5,31	4,46

Con los anteriores datos y considerando que el factor camión es determinante para el cálculo del número de ejes equivalentes y más aun teniendo en cuenta que este tipo de variable depende del comportamiento en cuanto a sobrecarga de los vehículos en las zonas de estudio para los diferentes diseños es necesario evaluar con prudencia dichos efectos en el momento de tomar valores nacionales cuando sea necesario estimar el número de ejes equivalentes en el diseño.

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

En la mayoría de los problemas de diseño se asume que los pesos y volúmenes de los camiones que viajan en cada dirección son casi iguales en cuanto a la distribución como se ha indicado por la PCA y que el pavimento toma la mitad del TPDS, sin embargo, esto debe ser objeto de estudio en casos particulares en donde la carga de los camiones presentes un comportamiento diferente.

FORMATO DE CAMPO PARA EL REGISTRO DE VOLÚMENES VEHICULARES

El formato de campo contempla en su encabezado la información general tanto del proyecto como del responsable del estudio, para facilitar la identificación de los vehículos se ha incorporado un gráfico de cada tipo de vehículo que se presume puede circular en la vía y que hacen parte de los vehículos que normalmente circulan en este tipo de vías. Ver formato en anexos.

PERIODO DE DISEÑO Y VIDA ÚTIL.

Los pavimentos se diseñan para un periodo determinado de años considerando el tipo de pavimento sea rígido o flexible para el caso de pavimentos rígidos por sus características funcionales es recomendable utilizar un periodo de diseño igual o superior a 20 años.

Con esta consideración es de suponer que, dependiendo de la circulación de vehículos en las vías y otros factores, la vida útil del pavimento superará el periodo de diseño y permitirá la circulación en buenas condiciones de operación.

CRECIMIENTO

Para determinar el crecimiento de la zona de influencia del proyecto se realizó un análisis de los datos existentes para la estación 711 – CONSACÁ – CRUCERO – MOTILÓN estación que corresponde a la vía denominada circunvalar al Galeras con paso por el municipio de Sandoná y específicamente por la zona en donde está ubicado el proyecto objeto de análisis en este estudio

Para el análisis de crecimiento se han tomado inicialmente 20 años de la serie histórica del INVIAS de la estación 711, sin embargo se han descartado algunos años que a criterio del profesional suscrito se han considerado atípicos, razón por la cual no se tienen en cuenta para realizar las respectivas regresiones y su exclusión mejora el coeficiente de correlación, observándose un mejor comportamiento al momento de estimar la línea de tendencia de los datos, lo que nos permite tener una mejor confiabilidad, considerando que en los últimos dos años se ha observado un crecimiento mucho mayor con respecto a años anteriores.

DATOS HISTÓRICOS DE LOS ÚLTIMOS 20 AÑOS

AÑO	TPDS HISTÓRICO
1998	494
1999	316
2000	626
2001	466
2002	821
2003	517
2004	651
2005	669
2006	528
2007	1,020
2008	687
2009	695
2010	517
2011	735
2012	784
2013	829
2014	862
2015	832
2016	1,298
2017	1,544

Tabla: Elaboración propia

En la tabla anterior podemos observar los datos correspondientes con la estación de conteo 711 – CONSACÁ – CRUCERO – MOTILÓN en la cual aparece el año con su respectivo Transito Promedio Diario Semanal (TPDS), los datos resaltados en color rojo son los datos que se han considerado atípicos para el presente estudio.

La ecuación obtenida para la línea de tendencia exponencial de la serie histórica de la estación es la siguiente:

$$Y = 204.75e^{0.0445x}$$

De la ecuación anterior se tiene que:

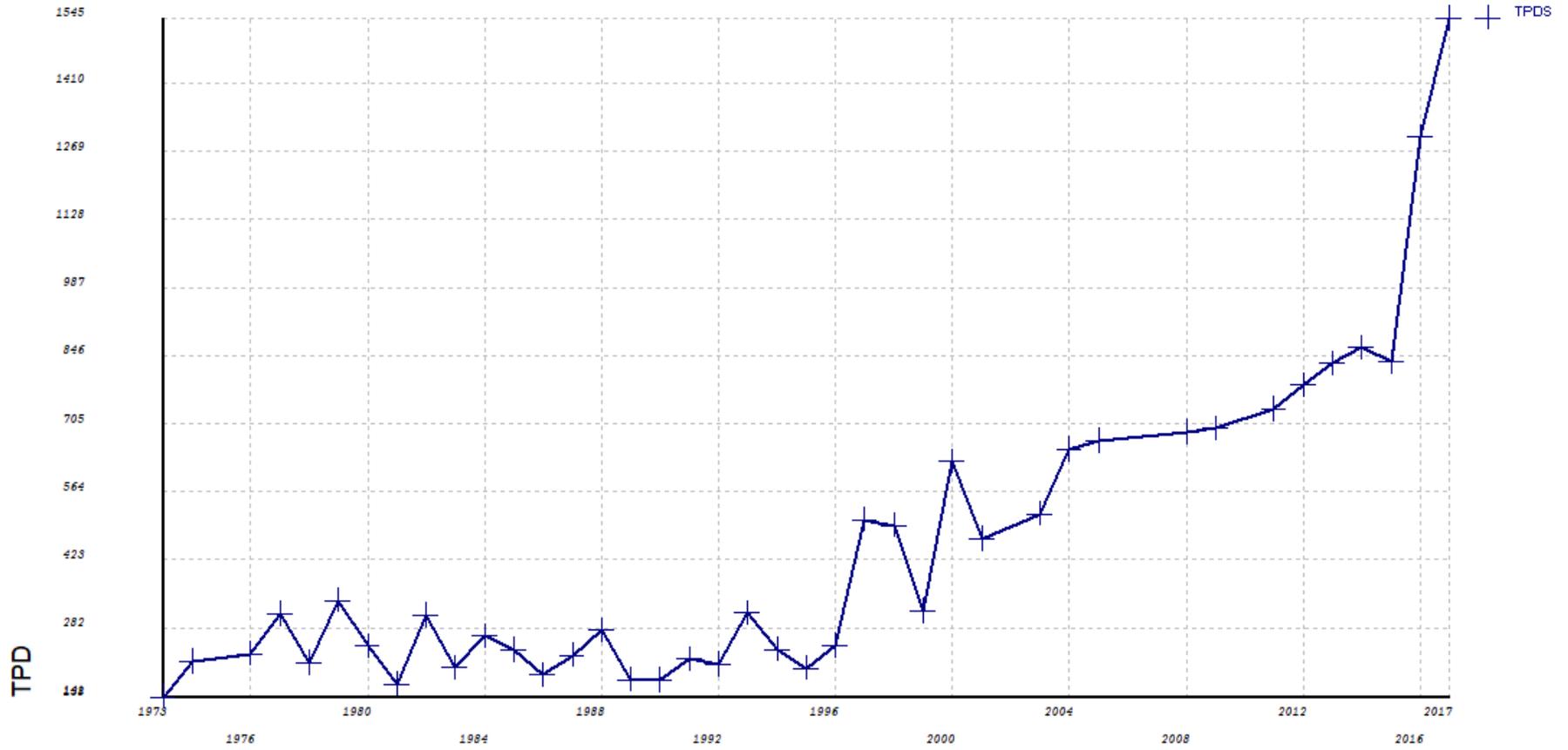
$$r = e^{0.0445} - 1$$

Por lo tanto:

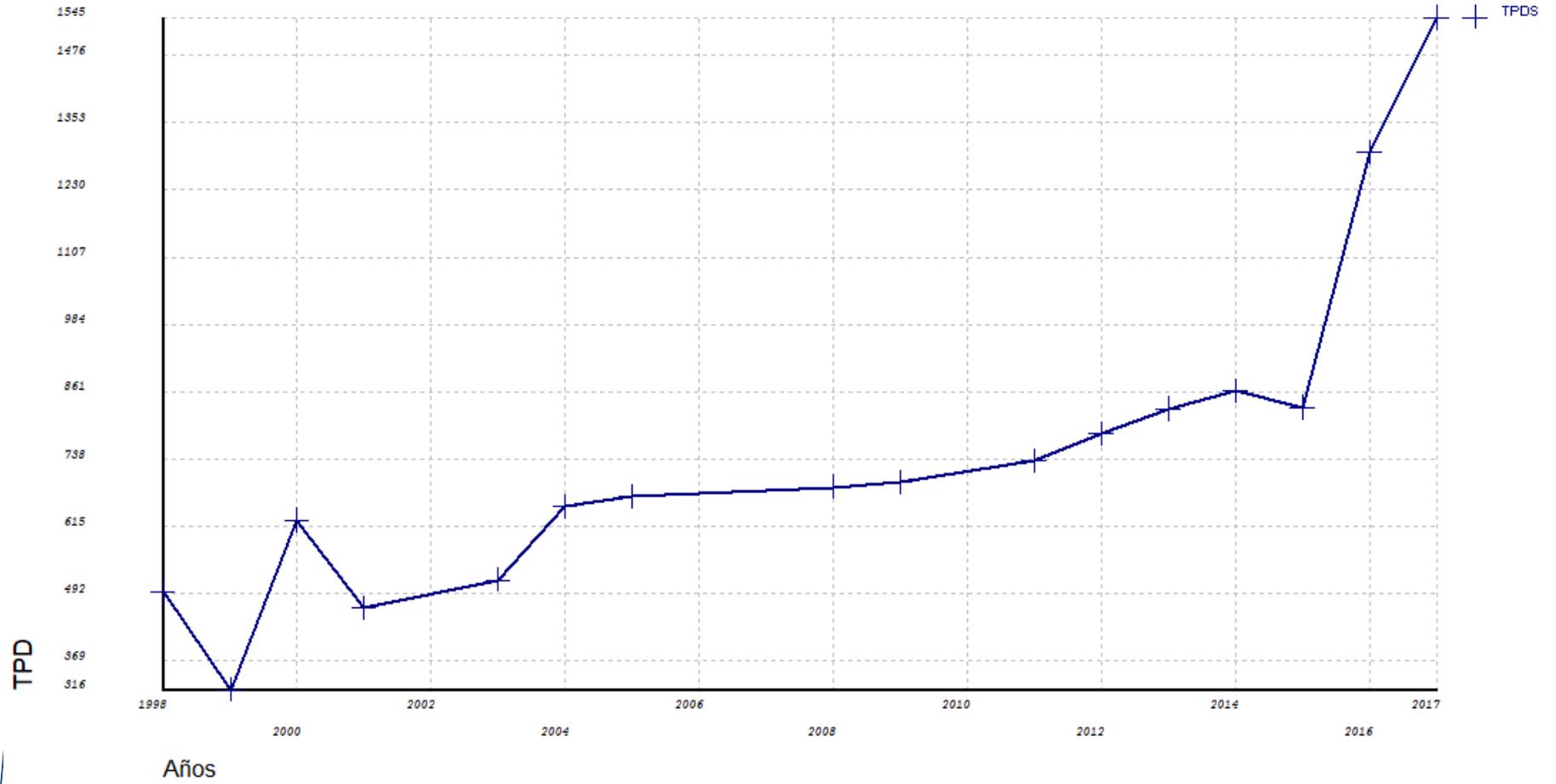
$$r = 4.55\%$$

Donde: $r = \text{tasa de crecimiento de la línea de tendencia}$.

GRAFICA SERIE HISTÓRICA EXISTENTE
Estación: 711-CONSACA-CRUCERO -MOTILÓN



GRAFICA SERIE HISTÓRICA ÚLTIMOS 20 AÑOS
Estación: 711-CONSACA-CRUCERO-MOTILÓN



ANÁLISIS GRAFICO ESTACIÓN DE CONTEO 711 – CONSACÁ – CRUCERO – MOTILÓN



RESUMEN CONTEO TRANSITO VEHICULAR

CONTEO DE TRANSITO VEHICULAR							
RUTA 25 EN LA PLAZA CENTRAL DEL MUNICIPIO DE SANDONA							
VIA PERIMETRAL A LA PLAZA CENTRAL							
TRANSITO EN LOS DOS SENTIDOS							
Día	Autos	Buses	C2P	C2-G	C3	C5	>C5
MIERCOLES	1203	44	86	62	35	5	2
SABADO	1483	77	108	90	58	3	2
DOMINGO	1790	33	42	33	9	0	0
TPDS	1407	57	90	70	42	4	2
TRANSITO UTILIZADO PARA PROYECCION							
	Autos	Buses	C2P	C2-G	C3	C5	>C5
PORCION DE TPDS	1407	57	90	70	42	4	2
TPDS	1672						

CALCULO DEL NÚMERO TOTAL DE VEHÍCULOS Y EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN EL CARRIL DE DISEÑO.

Para realizar el cálculo se utilizó la composición vehicular obtenida del conteo vehicular.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VÍAS PROGRAMA "TRANSITO"								
SERIE DE TRANSITO PROYECTADA								
ESTUDIO:	VÍAS PERIMETRALES PLAZA CENTRAL MUNICIPIO DE SANDONÁ							
Factor de Distribución Direccional :	50%							
Tipo de Regresión :	Exponencial							
CRECIMIENTO LINEAL								
TPDS INICIAL	Año	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5
	2018	1407	57	90	70	42	4	2
Parámetro crecimiento:	2019	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6

NUMERO DE VEHÍCULOS / DÍA / CARRIL DE DISEÑO								
Año	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	<C5	TPDS
2019	736	30	47	37	22	2	1	874
2020	770	31	49	38	23	2	1	915
2021	805	33	52	40	24	2	1	957
2022	842	34	54	42	25	2	1	1001
2023	881	36	56	44	26	3	1	1047
2024	921	37	59	46	28	3	1	1095
2025	964	39	62	48	29	3	1	1145
2026	1008	41	64	50	30	3	1	1198
2027	1055	43	67	52	31	3	1	1253
2028	1103	45	71	55	33	3	2	1311
2029	1154	47	74	57	34	3	2	1371
2030	1207	49	77	60	36	3	2	1434
2031	1262	51	81	63	38	4	2	1500
2032	1320	53	84	66	39	4	2	1569
2033	1381	56	88	69	41	4	2	1641
2034	1445	59	92	72	43	4	2	1717
2035	1511	61	97	75	45	4	2	1796
2036	1581	64	101	79	47	4	2	1878
2037	1653	67	106	82	49	5	2	1965
2038	1729	70	111	86	52	5	2	2055

PERIODO DE ANÁLISIS	
Año de inicio:	2019
Año final:	2038
Total años:	20

ANÁLISIS PARA EL CARRIL DE DISEÑO

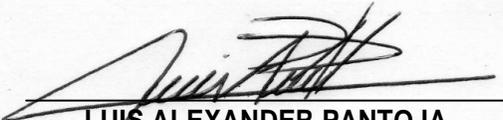
Tipo de Vehículo	Total Vehículos	Factor Daño	Ejes Equivalentes	% Distribución TPDS
Autos	8,514,824	0.00	0	84.14%
Buses	344,950	1.00	344,950	3.41%
C2P	544,658	1.01	550,105	5.40%
C2G	423,623	2.29	970,097	4.18%
C3-C4	254,174	3.91	993,820	2.53%
C5	24,207	3.66	88,598	0.24%
>C5	12,104	4.46	53,984	0.10%

Factor de Distribución por Carril:	100.0%
---	---------------

Número Ejes Equivalentes de 8.2 ton Carril de Diseño:	3,001,553
--	------------------

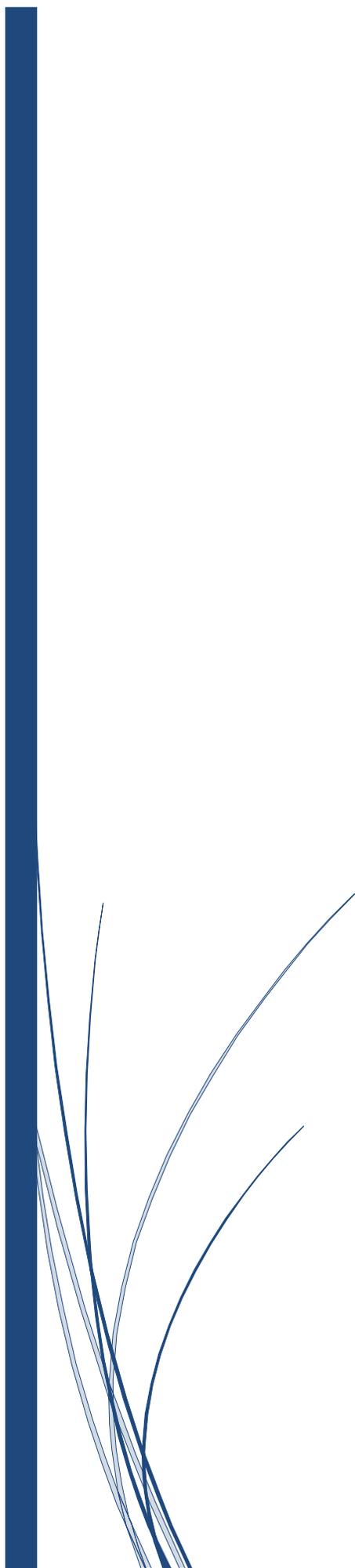
CONCLUSIONES

- El Transito promedio diario semanal es de 874 vehículos en el carril de diseño en el año base y el Transito promedio diario proyectado a 20 años será de 2055 en el carril de diseño.
- Se determinó la composición vehicular, autos, buses y camiones con los cuales se realizó los cálculos para encontrar el transito futuro en un periodo de análisis de 20 años con tasa de crecimiento de 4.55 %.
- Se determinó el número total de vehículos en el periodo de diseño por cada tipo como se puede observar en tablas anteriores.
- El número de ejes equivalentes de 8.2 ton en el carril de diseño es de 3,001,553. (3.0E+6).

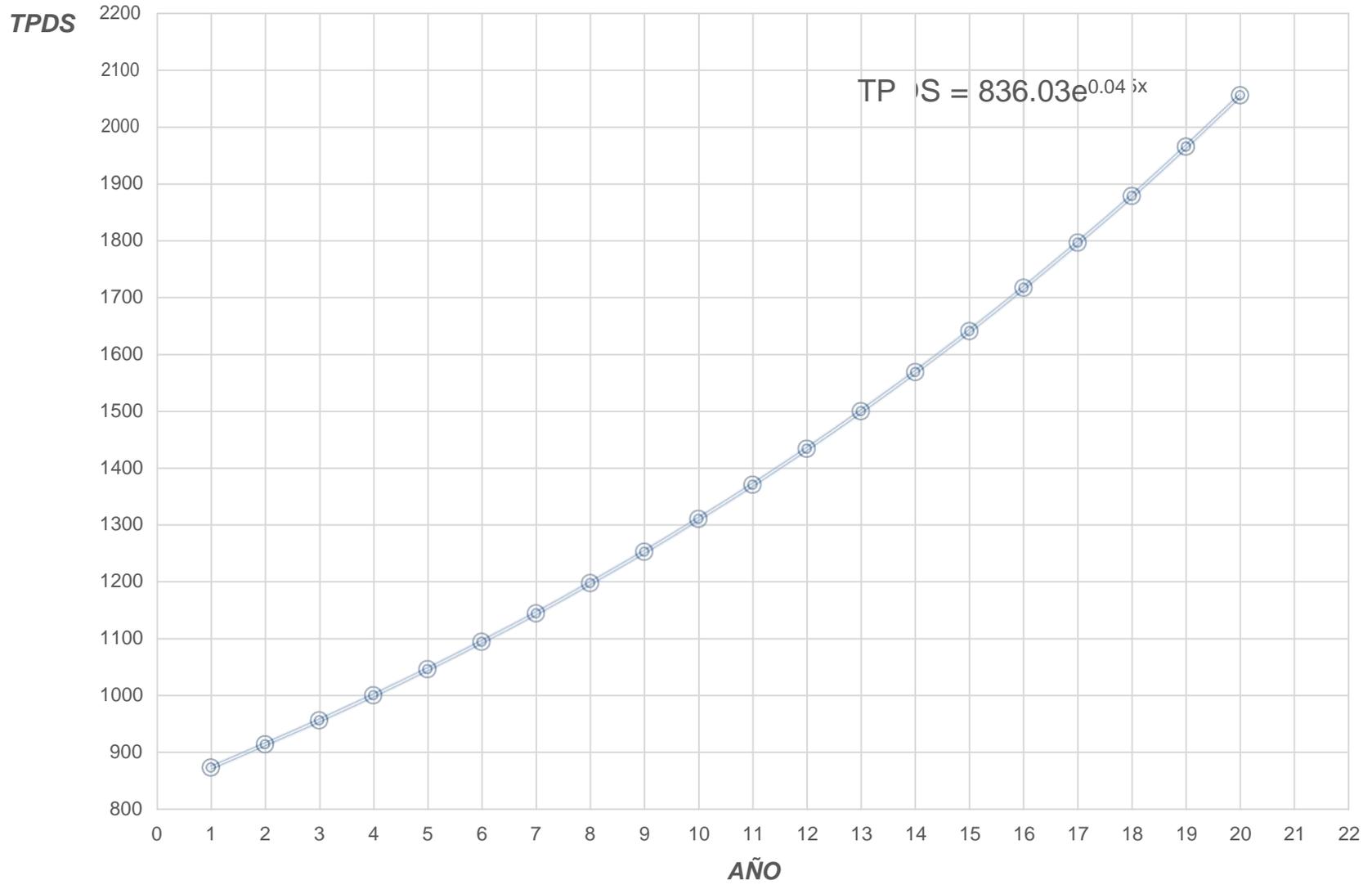


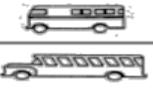
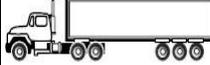
LUIS ALEXANDER PANTOJA
Ingeniero Civil
Matricula: 17202-119742 de C.P de Caldas
Esp. Ingeniería de Carreteras

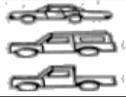
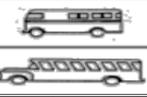
ANEXOS

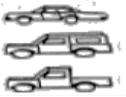
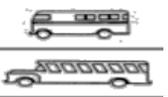
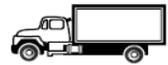


GRAFICA TPDS PROYECTADO- AÑO DE INICIO 2019



Fecha:		19 de septiembre de 2018		Hoja:		1 de 2		FORMATO CONSOLIDACION DE DATOS CONTEO VEHICULAR CONTEO REALIZADO POR EL MUNICIPIO EN EL CASCO URBANO MUNICIPIO DE SANDONA		
Dia de la semana:		miercoles		Punto de Aforo:		R25 (Basilica)				
Hora de inicio:		5:00 a. m.		Condiciones climaticas:		soleado				
Hora Final:		10:00 p. m.		Sentido:		DOS SENTIDOS				
Nombre Aforador:		Maribel Bastidas		Supervisor:		Ing. Harold Cordoba				
No. HORAS	PERIODO EN HORAS	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C5	>C5		
										
1	5-6	16	0	4	3	3	0			
2	6-7	45	11	7	5	3	0			
3	7-8	60	5	5	4	2	0			
4	8-9	79	3	5	6	1	0			
5	9-10	95	3	7	5	4	0			
6	10-11	91	2	8	4	5	0	1		
7	11-12	84	1	8	5	3	3			
8	12-13	63	2	2	0	0	0			
9	13-14	91	5	4	5	0	1			
10	14-15	76	3	2	4	2	0			
11	15-16	87	2	8	3	3	1			
12	16-17	89	3	9	8	4	0	1		
13	17-18	96	2	7	0	2	0			
14	18-19	90	1	4	6	1	0			
15	19-20	72	0	3	2	2	0			
16	20-21	46	1	3	2	0	0			
17	21-22	23	0	0	0	0	0			
TOTAL		1203	44	86	62	35	5	2		

Fecha:		22 de septiembre 2018		Hoja:		1 de 1		FORMATO CONSOLIDACION DE DATOS CONTEO VEHICULAR			
Dia de la semana:		Sabado		Punto de Aforo:		R25 (Basilica)		CONTEO REALIZADO POR EL MUNICIPIO EN EL CASCO URBANO MUNICIPIO DE SANDONA			
Hora de inicio:		5:00 a. m.		Condiciones climaticas:		soleado					
Hora Final:		10:00 p. m.		Sentido:		DOS SENTIDOS					
Nombre Aforador:		Maribel Bastidas		Supervisor:		ing. Harold Cordoba					
No. HORAS	PERIODO EN HORAS	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C5	>C5			
											
1	5-6	30	5	4	3	2	0	0			
2	6-7	41	6	5	4	1	0	0			
3	7-8	72	1	6	5	4	0	0			
4	8-9	94	4	6	2	3	0	0			
5	9-10	96	2	7	9	6	0	1			
6	10-11	96	8	5	3	3	0	0			
7	11-12	95	7	13	9	9	0	0			
8	12-13	96	8	15	10	7	2	1			
9	13-14	95	7	12	9	6	1	0			
10	14-15	96	6	8	8	5	0	0			
11	15-16	96	5	11	6	3	0	0			
12	16-17	96	8	6	10	5	0	0			
13	17-18	96	4	5	4	2	0	0			
14	18-19	96	6	3	2	2	0	0			
15	19-20	96	0	2	1	0	0	0			
16	20-21	96	0	0	2	0	0	0			
17	21-22	96	0	0	3	0	0	0			
TOTAL		1483	77	108	90	58	3	2			

Fecha:		23 de septiembre 2018		Hoja:		1 de 1		FORMATO CONSOLIDACION DE DATOS		
Dia de la semana:		Domingo		Punto de Aforo:		R25 (Basilica)		CONTEO VEHICULAR		
Hora de inicio:		5:00 a. m.		Condiciones climaticas:		soleado		CONTEO REALIZADO POR EL MUNICIPIO EN EL CASCO URBANO MUNICIPIO		
Hora Final:		10:00 p. m.		Sentido:		DOS SENTIDOS		DE SANDONA		
Nombre Aforador:		Jaime Esteban Ramirez		Supervisor:		ing. Harold Córdoba				
No. HORAS	PERIODO EN HORAS	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C5	>C5		
										
1	5-6	15	0	3	1	0	0	0		
2	6-7	37	3	2	2	0	0	0		
3	7-8	48	1	1	0	1	0	0		
4	8-9	91	3	4	0	1	0	0		
5	9-10	92	0	1	2	0	0	0		
6	10-11	96	1	1	5	1	0	0		
7	11-12	143	4	6	4	2	0	0		
8	12-13	154	5	5	4	1	0	0		
9	13-14	155	7	9	5	3	0	0		
10	14-15	148	1	0	1	0	0	0		
11	15-16	138	2	3	0	0	0	0		
12	16-17	153	1	1	1	0	0	0		
13	17-18	174	2	2	2	0	0	0		
14	18-19	151	2	2	2	0	0	0		
15	19-20	72	1	1	1	0	0	0		
16	20-21	78		1	2	0	0	0		
17	21-22	45			1	0	0	0		
TOTAL		1790	33	42	33	9	0	0		

**Anexo 7: Anexo
Precio Materiales
Apus Nariño 2020-1
INVIAS**

**INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
DIRECCIÓN TÉCNICA**



MATERIALES

MATERIALES			<i>Moneda (\$ Pesos)</i>
B0020001	kg	Acero A-36 para estructura metálica	\$ 2,596
B0020004	kg	Acero A-37	\$ 2,944
B0020002	kg	Acero A-40	\$ 2,363
B0020003	kg	Acero PDR-60	\$ 2,864
B002001	kg	Acero suministrado y figurado PDR 60	\$ 3,363
B003003	kg	Aditivo Acelerante de Fraguado	\$ 5,836
B0030001	kg	Aditivo curador	\$ 4,739
B0043070	u	Adoquín color 10X20X6	\$ 880
B0043080	m2	Adoquín e=8cm	\$ 50,804
B0043090	u	Adoquín grama 10X20X6	\$ 753
B0043071	m2	Adoquín Gris E=10 Cm	\$ 59,478
B0063201	lt	Aglomerante Estabilizador	\$ 8,247
B0053100	m3	Agregado para concreto hidráulico	\$ 62,477
B0053110	m3	Agregado para tratamiento superf. Doble	\$ 78,096
B0053120	m3	Agregado para tratamiento superf. Simple	\$ 78,096
B0053112	m3	Agregado para tratamiento superficial doble (primer riego)	\$ 78,096
B0053114	m3	Agregado para tratamiento superficial doble (segundo riego)	\$ 78,096
B0053130	m3	Agregado petreo para mezclas asfálticas	\$ 72,889
B0053191	m3	Agregado Petreo para Triturar (Crudo)	\$ 26,032
B0053131	m3	Agregado Petreo para TSS	\$ 78,096
B0053160	m3	Agregado tipo LA 10 (lechadas)	\$ 39,576
B0053150	m3	Agregado tipo LA 13 (lechadas)	\$ 41,116
B0053180	m3	Agregado tipo LA 4 (lechadas)	\$ 41,577
B0053170	m3	Agregado tipo LA 5 (lechadas)	\$ 42,518
B0053190	m3	Agregados seleccionados (tamaño máximo 1") (bandas sonoras reduce velocidad)	\$ 62,477
B0063200	lt	Agua	\$ 44
B0073210	m	Alambre de púa calibre 12 (350 m)	\$ 533
B0073211	kg	Alambre Galvanizado Aleación Zn-5A1-Mm	\$ 4,095
B0073222	kg	Alambre Galvanizado Aleación Zn-5A1-Mm Y Pvc	\$ 4,063
B0073220	kg	Alambre galvanizado No. 12	\$ 5,576
B0073221	kg	Alambre Galvanizado Zinc Y Pvc	\$ 4,368
B026012	kg	Alambre Negro Para Amarre	\$ 4,998
B0073230	kg	Alambre negro para amarre calibre 18	\$ 5,576
B031001	u	Almohadillas de neopreno dureza 60 (35cm*45cm*5cm con 2 laminas de 3mm)	\$ 365,541
B026011	u	Amortiguadores (Para Defensas Metálicas), Incluye Tornillos	\$ 32,588
B0113260	u	Anclaje para fijación del manto	\$ 438
B0013770	u	Anclajes o Cuñas para el tensionamiento	\$ 11,266
B0013270	kg	Anfo	\$ 7,127
B0013280	m	Angulo de 1-1/2" x 1/4" (cerramiento en malla)	\$ 12,317
B0063290	kg	Antisol blanco (presentación 20 kg)	\$ 5,471
B0303300	u	Arbol de 0.6 m (Protector)	\$ 1,562
B0303310	u	Arbol de 1.2 m (Paisajístico)	\$ 2,083
B0093320	m3	Arena de sello (fina)	\$ 41,651

B0093330	m3	Arena de soporte (media)	\$ 52,064
B0093321	m3	Arena de Trituración	\$ 41,651
B009111	m3	Arena de trituración (sellos de arena-afalto)	\$ 41,651
B0093350	m3	Arena lavada	\$ 47,087
B0013281	m	Armadura de Acero	\$ 3,231
B0083360	kg	Asfalto AP 190 (BREA)	\$ 4,251
B008007	lt	Asfalto líquido	\$ 4,641
B008009	gal	Asfalto líquido RC 250	\$ 5,782
B0013380	kg	Barras de transferencia de carga (1")	\$ 3,520
B0013390	kg	Barras de unión de 1/2"	\$ 3,363
B0013400	m3	Base Granular reciclada en obra	\$ 22,740
B0013410	kg	Bentonita	\$ 2,776
B0013420	m2	Biomanto	\$ 71,498
B0013435	m2	Biomanto Temporal 300 Gr/M2	\$ 5,864
B0013430	m3	Bolsacreto de 1m3	\$ 28,834
B0013436	u	Bordillo Prefabricado En Concreto Ref.A85 Ntc-4109, 0,20 X 0,35 X 0.80 M	\$ 42,750
B0013432	u	Botella de gas propano (40 lb) (5% de oxígeno)	\$ 76,206
B0013434	u	Botella de oxígeno (1800 lb)	\$ 42,968
B0320001	m	Cable de 1/2" (para anclajes)	\$ 14,716
B0013450	kg	Cal	\$ 1,351
B0013460	kg	Camisa metálica en acero A-37	\$ 6,633
B0013470	m	Camisas y Formaleta en Concreto	\$ 32,899
B0013480	u	Captafaro, Incluye Tornillos	\$ 6,196
B0013484	u	Celda especial de carga	\$ 13,216,580
B0103501	kg	Cemento Asfáltico 40-50	\$ 2,107
B0103490	kg	Cemento Asfáltico 60-70	\$ 1,562
B0103500	kg	Cemento Asfáltico 80-100	\$ 1,139
B0103555	kg	Cemento Asfáltico con grano de Caucho Reciclado	\$ 2,594
B0103491	kg	Cemento Asfáltico	\$ 1,562
B0103551	kg	Cemento Asfáltico Modificado Con Grano De Caucho Reciclado Tipo I	\$ 1,742
B0103552	kg	Cemento Asfáltico Modificado Con Grano De Caucho Reciclado Tipo II	\$ 1,767
B0103553	kg	Cemento Asfáltico Modificado Con Grano De Caucho Reciclado Tipo III	\$ 1,819
B0103510	kg	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo I	\$ 2,768
B0103520	kg	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo II	\$ 2,768
B0103530	kg	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo III	\$ 2,792
B0103540	kg	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo IV	\$ 2,792
B0103554	kg	Cemento Asfáltico Modificado Con Polímeros Tipo V	\$ 2,792
B0103550	kg	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo V	\$ 2,792
B0100001	kg	Cemento gris	\$ 561
B0103557	kg	Cemento Hidráulico adicionado, Norma ASTM C595 Tipo _____	\$ 536
B0103556	kg	Cemento Porthland Norma ASTM C150 Tipo _____	\$ 466
B0303570	m2	Cespedones	\$ 22,908
B0013580	kg	Cicatrizante (para remoción de especies vegetales)	\$ 9,924
B0013590	m	Cinta Sika PVC 0,22	\$ 35,340
B0013600	m	Cintilla de poliuretano (sika rod)	\$ 954
B0013601	m	Cintilla De Poliuretano (Sika rod) (Pavimentos De Concreto Hidráulico)	\$ 954
B0013610	kg	Cloruro de calcio	\$ 3,591
B0013772	kg	Cloruro De Calcio En Esferas (Pellets)	\$ 2,826
B0013771	kg	Cloruro De Calcio En Hojuelas (Flakes)	\$ 3,584
B0013611	lt	Cloruro De Calcio Líquido	\$ 2,778
B0133680	m3	Concreto hidráulico para pavimento MR-20	\$ 279,564
B0133690	m3	Concreto hidráulico para pavimento MR-36	\$ 361,833

B0133700	m3	Concreto hidráulico para pavimento MR-43 (Fastrack)(acelerado a 24 horas)	\$ 544,118
B0133710	m3	Concreto hidráulico para pavimento MR-43	\$ 433,092
B0133720	m3	Concreto hidráulico para pavimento MR-45	\$ 446,420
B0123660	m3	Concreto Resistencia 14 (Mpa)	\$ 318,285
B0123650	m3	Concreto Resistencia 21 (Mpa)	\$ 344,847
B0123671	m3	Concreto Resistencia 28 (Mpa)	\$ 371,637
B0123620	m3	Concreto Resistencia 28 (Mpa)	\$ 371,637
B0123640	m3	Concreto Resistencia 32 (Mpa)	\$ 384,975
B0123630	m3	Concreto Resistencia 35 (Mpa)	\$ 398,313
B0123670	m3	Concreto resistencia 14 (MPA) (Ciclopeo)	\$ 370,038
B0013730	m	Cordón detonante	\$ 1,816
B0013740	m2	Costal de fibra o fique	\$ 3,633
B0013750	u	Costal de fibra o fique	\$ 4,833
B0013760	m	Cuneta prefabricada de concreto tipo V de (0,8*0,3*0,22)	\$ 54,581
B0013761	u	Cuneta Prefabricada En Concreto Perfil U O V Ref.Cu004 Ntc-4109, 0,20 X 0,30 X 1.0 M	\$ 30,403
B0013773	u	Defensa Metálica De 4,13 M Galvanizada	\$ 270,128
B0013781	u	Delineador De Corona	\$ 33,823
B0013780	u	Delineador de corona en forma de A de lámina galvanizada calibre 16 de (1.55*25) cm	\$ 33,823
B0013794	m3	Derechos de explotación de material pétreo	\$ 3,361
B0013790	m3	Derechos de explotación y/o disposición de materiales	\$ 3,200
B014001	gal	Disolvente para pintura (TINNER)	\$ 17,702
B014002	gal	Disolvente para pintura Trafico (acrílico)	\$ 36,445
B0013820	m3	Disposición de material de derrumbe	\$ 2,267
B0013830	m	Ductos para tensionamiento	\$ 11,352
B020011	lt	Emulsión Asfáltica de Rotura Lenta CRL	\$ 1,536
B020012	lt	Emulsión Asfáltica de Rotura Media Modificada Con Polímeros CRM-m	\$ 2,048
B020010	lt	Emulsión asfáltica de rotura media modificada con polímeros CRMm	\$ 2,048
B020001	lt	Emulsión CRL-0	\$ 1,537
B020002	lt	Emulsión CRL-1	\$ 1,252
B020003	lt	Emulsión CRL-1h	\$ 1,400
B020004	lt	Emulsión CRL-1hm	\$ 1,805
B020005	lt	Emulsión CRM	\$ 2,048
B020007	lt	Emulsión CRR-1	\$ 1,207
B020006	lt	Emulsión CRR-1m	\$ 1,558
B020008	lt	Emulsión CRR-2	\$ 1,297
B020009	lt	Emulsión CRR-2m	\$ 1,617
B015012	kg	Escolta y transporte (una tarifa por cada m3 escoltado y transportado)	\$ 5,465
B015002	%	Escolta y trasporte (Tarifa Porcentual de 40 %) por cada Metro Cubico exportado y trasportado	\$ 0
B0013940	kg	Esferas reflectivas	\$ 5,206
B0013950	glo	Estacas, Pintura, Tachuelas, Hilo (localización de estructuras y carreteras)	\$ 625
B0013960	m	Estacón en madera viva diámetro mayor a 10 cm, L=2 m	\$ 3,803
B0013970	u	Estoperol en resina de 11X3 cm	\$ 2,230
B0013980	lb	Explosivos 75% (INDUGEL)	\$ 17,384
B0013991	lt	Fertilizante Orgánico Mineral	\$ 18,514
B021007	m2	FORMALETA (Depende para que sea el Concreto)	\$ 11,268
B021001	m2	Formaleta (gaviones, juntas de bordillos, juntas de cunetas, muros, concretos clase D,E, F y G)	\$ 4,903

B021003	m2	Formaleta concreto clase A,B y C	\$ 16,193
B021002	m2	Formaleta Metálica	\$ 930
B021004	m	Formaleta para baranda de concreto	\$ 19,481
B021005	m2	Formaleta para muros	\$ 5,974
B021006	glo	Formaleta, platina y accesorios (escamas en concreto)	\$ 126,167
B0014040	u	Fulminantes	\$ 1,189
B0014050	kg	Fundente	\$ 23,624
B0014060	kg	Gas propano	\$ 4,234
B028001	m	Geodren circular diámetro 100 mm y altura 2.00 M	\$ 64,595
B028002	m	Geodren planar Diamet 100 mm y h=0.50	\$ 15,867
B028003	m	Geodren planar Diamet 100 mm y h=1.00	\$ 30,896
B028004	m	Geodren planar Diamet 100 mm y h=2.00	\$ 64,595
B0014112	m2	Geomalla Biaxial Para Refuerzo Pbx-11	\$ 7,908
B0264112	m2	Geomalla Biaxial Para Refuerzo Pbx-11	\$ 7,908
B0014113	m2	Geomalla Biaxial Para Refuerzo Pbx-12	\$ 9,665
B0264113	m2	Geomalla Biaxial Para Refuerzo Pbx-12	\$ 9,665
B026010	m2	Geomalla en fibra de vidrio GLASGRID 8511	\$ 5,901
B026013	m2	Geomalla en fibra de vidrio GLASGRID 8511	\$ 5,901
B0264116	M2	Geomalla Forgrid UX100	\$ 14,852
B0264115	m2	Geomalla Fort Gird UX-50	\$ 8,908
B0014114	m2	Geomalla Tipo Asphalt	\$ 9,842
B0264114	m2	Geomalla Tipo Asphalt	\$ 9,842
B0014111	m2	Geomalla Uniaxial Pbx-11	\$ 8,908
B0264111	m2	Geomalla Uniaxial Pbx-11	\$ 8,908
B025002	m2	Geoterxtil T-4000 o similar	\$ 10,741
B025100	M2	Geotextil Forte Grid UX-165	\$ 23,518
B025101	M2	Geotextil Fortex BX-40	\$ 7,394
B025003	m2	Geotextil No Tejido	\$ 6,653
B025004	m2	Geotextil No Tejido para reparación	\$ 6,653
B025008	m2	Geotextil Nt Repav 450 O Similar (Proveedores Pavco, Lafayet, Geomatrix, Tensar, Omnes U Otros)	\$ 5,092
B025005	m2	Geotextil Nt-2500 O Similar (Proveedores, Pavco, Geomatrix, Tensar, Omnes U Otros)	\$ 5,686
B025006	m2	Geotextil NT-3000 o similar (proveedores, Tensar, Omnes u otros)	\$ 6,653
B025011	m2	Geotextil T-2100 O Similar (Proveedores Pavco, Lafayet, Geomatrix, Tensar, Omnes U Otros)	\$ 6,363
B025001	m2	Geotextil T-2400 O Similar (Proveedores Lafayet, Pavco, Geomatrix, Tensar, Omnes U Otros)	\$ 7,394
B025007	m2	Geotextil Tejido	\$ 4,237
B025009	m2	Geotextil Tejido	\$ 4,237
B0014180	kg	Grapas	\$ 7,435
B0014184	u	Grata de limpieza	\$ 29,156
B0014181	m3	Gravilla	\$ 72,889
B0014185	m	Guadua	\$ 1,562
B0014191	kg	Impermeabilizante para Concreto	\$ 13,102
B033011	kg	Impermeabilizante para concreto	\$ 13,102
B0014190	kg	Imprimante y puente de adherencia	\$ 12,434
B021008	m	Junta elastomérica Jeene (J 8097VV)	\$ 838,964
B0014231	u	Lamina 1,22 X 2,44 X 1/2"	\$ 830,702
B0014232	u	Lamina 1,22 X 2,44 X 1/4"	\$ 415,502
B0014200	m2	Láminas impermeabilizantes	\$ 1,745
B0014233	u	Lechada Para Ductos (Acero De Preesfuerzo)	\$ 791
B0014210	lt	Lechada para ductos (tensionamiento)	\$ 809
B0014220	u	Limpiador 1/4 de galón (anclajes)	\$ 34,736

B0014230	m	Listón en guadua para empujar	\$ 937
B0014234	u	Lubricante Pvc X 500 G	\$ 19,504
B033005	u	Malla Ciclónica Para Gaviones Galvanizada Aleación Zn-5A1-Mm Cal 12 (2M3)	\$ 83,153
B033009	u	Malla Ciclónica Para Gaviones Galvanizada Aleación Zn-5A1-Mm Y Plástica Pvc Cal 12 (2M3)	\$ 109,967
B033006	u	Malla Ciclónica Para Gaviones Galvanizada Y Plástica Con Pvc Cal 12 (2M3)	\$ 108,334
B033010	m2	Malla Electrosoldada de 5/16	\$ 21,053
B033001	m2	Malla eslabonada, calibre 10, 6 ojos	\$ 11,281
B033003	u	Malla Para Colchagaviones Espesor 0,30 M	\$ 200,676
B033002	u	Malla para gaviones (2M3)	\$ 130,108
B0014235	m	Manguera De Alta Presión	\$ 81,756
B0014254	m	Manguera de alta presión	\$ 79,746
B0014260	m	Manguera de polietileno de 3"	\$ 6,884
B0014265	m2	Manto de refuerzo de vegetación tipo 5A	\$ 13,000
B0014267	m2	Manto Permanente (Protección de Taludes)	\$ 13,000
B0014266	m2	Manto Temporal (Protección de Taludes)	\$ 5,396
B0014281	m3	Material de afirmado de la Zona	\$ 31,238
B0014271	m3	Material Granular Tipo SBG	\$ 39,569
B0014270	m3	Material de afirmado	\$ 31,238
B0014291	m3	Material de Base	\$ 41,651
B0014300	m3	Material de base (gradación 1)	\$ 41,651
B0014310	m3	Material de base (gradación 2)	\$ 41,651
B0014320	m3	Material de base (gradación 3)	\$ 41,651
B0014322	m3	Material de base procesado en planta (gradación 1, 2)	\$ 41,651
B0014292	m3	Material de base reciclada (manejo)	\$ 6,892
B0014330	m3	Material de la zona (para estabilizar bases)	\$ 20,970
B0014373	m3	Material de Recebo Para Relleno	\$ 26,032
B0014411	m3	Material de Remoción	\$ 4,190
B0014340	m3	Material de Sub- Base CBR=20%	\$ 39,569
B0014350	m3	Material de Sub- Base CBR=30%	\$ 31,238
B0014361	m3	Material de Sub Base CBR=40%	\$ 41,651
B0014370	m3	Material de Sub- Base para bacheo	\$ 41,651
B0014372	m3	Material de Sub- Base procesado en planta (tipo 1 o tipo 2)	\$ 41,607
B0014380	m3	Material drenante (3")	\$ 52,064
B0014390	m3	Material filtrante (6")	\$ 46,857
B0014272	m3	Material Granular Tipo BG	\$ 39,569
B0014400	m3	Material para pedraplén	\$ 31,238
B0014402	m3	Material para solado y atraque	\$ 36,445
B0014410	m3	Material seleccionado para Relleno	\$ 26,032
B0014420	m	Mecha Lenta	\$ 1,279
B0014430	m3	Mezcla abierta en caliente MAC-1	\$ 271,713
B0014440	m3	Mezcla abierta en caliente MAC-2	\$ 276,353
B0014450	m3	Mezcla abierta en caliente MAC-3	\$ 286,083
B0014542	M3	Mezcla Abierta en Frio MAF-25	\$ 235,870
B0014461	m3	Mezcla Abierta en Frio MAF-19	\$ 240,013
B0014469	m3	Mezcla Abierta en Frio MAF-38	\$ 230,457
B0014490	m3	Mezcla Densa en caliente MDC-0	\$ 267,370
B0014501	m3	Mezcla Densa en caliente MDC-10	\$ 385,273
B0014502	m3	Mezcla densa en Caliente MDC-19	\$ 364,447
B0014511	m3	Mezcla densa en Caliente MDC-25	\$ 354,034
B0014531	m3	Mezcla Densa en Frio MDF-19	\$ 245,283
B0014541	m3	Mezcla Densa en Frio MDF-25	\$ 246,242
B0014551	m3	Mezcla Densa en Frio MDF-38	\$ 246,674

B0014552	m3	Mezcla Densa en Frio para Bacheo	\$ 233,663
B0014560	m3	Mezcla discontinua en caliente F-1	\$ 177,811
B0014570	m3	Mezcla discontinua en caliente F-2	\$ 182,756
B0014580	m3	Mezcla discontinua en caliente M-1	\$ 195,057
B0014590	m3	Mezcla discontinua en caliente M-2	\$ 156,344
B0014601	m2	Mezcla Fértil	\$ 13,395
B0014600	m3	Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-1	\$ 252,204
B0014421	m3	Mezcla Semidensa en Caliente MSC-19	\$ 250,654
B0014610	m3	Mortero 1:3	\$ 370,745
B0014611	m3	Mortero 1:3 De recubrimiento	\$ 409,281
B0014236	m3	Mortero 1:3 Para Anillos	\$ 409,281
B0014240	m3	Mortero alta resistencia (Eucocrete)	\$ 6,182,721
B0014237	kg	Mulch Orgánico	\$ 2,773
B0014620	kg	Nutrientes (para remoción de especies vegetales) (dap, triple 15 o similar) (ítem 201.9)	\$ 2,429
B0014630	m2	Obra falsa concreto clase A y B (puntal de 3m metálico)	\$ 35,749
B0014640	kg	Oxigeno industrial	\$ 10,515
B0014650	m	Paral en madera rolliza de 3" (tablestacados)	\$ 4,956
B0014660	u	Paral en madera rolliza de 5" y 4,5m de longitud (tablestacados)	\$ 30,668
B0014670	u	Paral en madera rolliza de 6" y 5m de longitud (tablestacados)	\$ 27,373
B0014680	u	Paral en madera rolliza de 6" y 8m de longitud (tablestacados)	\$ 45,963
B0014690	kg	Pegante epóxico	\$ 35,922
B0014701	m	Perfil Hea 200	\$ 142,131
B0014702	m3	Piedra para Concreto Ciclópeo (Rajón o Canto Rodado)	\$ 31,238
B0014700	m3	Piedra para concreto ciclópeo (rajón o canto rodado)	\$ 31,238
B0014710	m3	Piedra para gavión	\$ 36,445
B0014720	m	Pilote de madera diam mayor a 18 cm.	\$ 40,880
B0014730	m	Pilote en madera barbosco de 15*15	\$ 38,254
B0014740	gal	Pintura acrílica pura para tráfico	\$ 65,080
B0014750	gal	Pintura acrílica, esmalte o similar	\$ 65,080
B0014760	gal	Pintura anticorrosiva	\$ 36,341
B0014238	g	Pintura Impermeabilizante	\$ 97,667
B0014239	g	Pintura Imprimante	\$ 88,509
B0014770	u	Piscina de decantación de (3*3*1)	\$ 53,100
B0014772	kg	Plastificante (Sikament)	\$ 6,489
B0014780	m	Platina de 1" x 1/4" (cerramiento en malla)	\$ 4,527
B0014790	u	Poste de madera para cercas	\$ 10,949
B0014800	u	Poste en angulo de 2*2*1/4 de 3,5m para señal	\$ 192,636
B0014810	u	Poste kilometraje	\$ 80,337
B0014831	u	Postes De Concreto Para Cercas 2,00 Mts	\$ 29,156
B0014820	u	Postes de concreto para cercas	\$ 29,156
B0014830	u	Postes para defensa metálica (1,80m)	\$ 134,235
B0014840	lb	Puntilla	\$ 3,098

B0014850	lt	Químico estabilizante (PROBASE)	\$ 48,316
B0014860	kg	Refuerzo de 3/8" 60000 psi	\$ 3,390
B0014870	kg	Resina termoplástica	\$ 20,826
B0014880	u	Salida en PVC D=2"	\$ 1,971
B0014893	u	Sección De Tope Defensa Metálica	\$ 46,857
B0014890	u	Sección final de defensa metálica	\$ 57,270
B0014892	u	Sección tope	\$ 46,857
B0014900	m	Sello de silicona o sellador autonivelante	\$ 5,648
B0014894	kg	Semilla Para Empradizar Tipo Braquiaria	\$ 15,619
B0014910	kg	Semillas para empradizar	\$ 31,238
B0014920	u	Señal (grupo 1) tablero en lámina galvanizada de 90*90 cm, calibre 16 reflectivo tipo 1./ incluye poste)	\$ 432,338
B0014930	u	Señal (grupo 1). Tablero en lámina galvanizada de 75cm*75cm, calibre 16, reflectivo tipo 1/ incluye poste)	\$ 382,461
B0014940	u	Señal (grupo 2). Tablero en lámina galvanizado de 1,2m*0,4m, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 309,284
B0014950	u	Señal (grupo 3 ferrocarril) (SP-54). Tablero en lámina galvanizado de 2,4m*0,3m, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 463,927
B0014960	u	Señal (grupo 4). Tablero en lámina galvanizado de 60cm*75cm, calibre 16, reflectivo tipo 1. (delineador de curva horizontal)	\$ 429,975
B0014970	m2	Señal (grupo 5). Tablero en lámina galvanizado de 0,90m*1,13m, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 655,296
B0014980	u	Señal temporal preventiva	\$ 296,764
B0014895	kg	Sika Color C	\$ 45,878
B0014898	kg	Sika Top 122	\$ 6,929
B0014897	kg	Sika Top Armatec 108	\$ 17,819
B0014896	kg	Sikadur 32 Primer	\$ 80,588
B0014899	kg	Sikaset L - Acelerante	\$ 14,098
B0015000	kg	Soldadura 6013 de 1/8	\$ 7,336
B0015010	kg	Soldadura 7018	\$ 8,212
B0015032	kg	Soldadura E70XX o en arco sumergido	\$ 7,908
B0015020	u	Soldadura en PVC 1/8 de galón (anclajes)	\$ 43,675
B0015030	kg	Soldadura L-70	\$ -
B0015040	gal	Superplastificante Sikament	\$ 12,571
B0015050	u	Tabla burda en madera aserrada (0,30*0,03*3,00)	\$ 7,810
B0015064	u	Tablero en lámina galvanizada de 1,2 cm*0,4 cm, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 67,267
B0015066	u	Tablero en lámina galvanizada de 2,4 m*30 cm, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 197,218
B0015063	u	Tablero en lámina galvanizada de 60 cm*75cm, calibre 16, reflectivo tipo 1	\$ 168,687
B0015062	u	Tablero en lámina galvanizada de 75cm*75cm, calibre 16, reflectivo tipo 1. Incluye poste de 2*2*1/4"	\$ 382,461
B0015068	u	Tablero en lámina galvanizado de 0,90m*1,13m, calibre 16, reflectivo tipo 1.	\$ 165,397
B0015071	u	Tablestaca de madera aserrada (0.25x0.03x3)	\$ 8,851
B0015060	u	Tablestaca en madera aserrada (0,25*0,05*3)	\$ 16,140

B0015070	u	Tablestaca en madera aserrada (0,3*0,03*3)	\$ 8,851
B0015080	u	Tablestaca metálica (riel de 70 lb/yarda)	\$ 65,679
B0015090	u	Tacha reflectiva	\$ 4,337
B0015100	u	Tachón en resina de (50*15*8) cm	\$ 4,165
B0015110	u	Tapón en PVC RD21 de 1" (para anclaje)	\$ 1,068
B0015130	m3	Tierra abonada	\$ 33,321
B0015120	m3	Tierra común	\$ 2,083
B0015141	u	Tornillos de Unión de D= 12 mm	\$ 602
B0015140	u	Tornillos para defensa metálica	\$ 4,190
B0015150	kg	Torón de tensionamiento 1/2" o 5/8"	\$ 4,398
B0015162	u	Tramo Curvo De 4,13 M Galvanizado	\$ 406,931
B0015161	u	Tramo Final O Terminal 2,5 Mm, De 71 Cm Galvanizado	\$ 57,270
B0015160	m	Tramo recto para defensas metálicas (4,13m)	\$ 406,931
B0014901	u	Transductores Electrónicos (Incluye Cables, Protección Contra El Concreto Y Panel De Lectura)	\$ 1,282,819
B0015164	u	Transductores electrónicos (incluye cables, protección contra el concreto y panel de lectura)	\$ 1,306,830
B0014902	u	Transductores Mecánicos (Incluye Cables, Protección Contra El Concreto Y Panel De Lectura)	\$ 832,709
B0015166	u	Transductores mecánicos (incluye cables, protección contra el concreto y panel de lectura)	\$ 801,409
B0015350	m3	Triturado tamaño 1/2"	\$ 72,889
B0015170	kg	Trompetas de 12 torones (tensionamiento)	\$ 50,435
B0015180	m	Tubería D=4" tipo pesado, E=2mm (baranda metálica)	\$ 34,052
B0015230	u	Tubería de 10" PAA vaciado tremi de 4 mts	\$ 58,484
B0015233	m	Tubería de Plástico	\$ 13,997
B0015190	m	Tubería en H de D=1/4", H=1.40m, A=0.20m (baranda metálica)	\$ 41,383
B0015200	m	Tubería Perforada en PVC de 2"	\$ 8,157
B0015340	m	Tubería Petrolera 7"	\$ 114,250
B0015231	m	Tubería Pvc Alcantarillado D= 24"	\$ 375,567
B0015232	m	Tubería Pvc Alcantarillado D= 36"	\$ 1,041,610
B0015220	m	Tubería PVC de 1" (para escamas en concreto)	\$ 4,253
B0015210	m	Tubería PVC RD21 de 1" (para anclajes)	\$ 4,254
B0015254	m	Tubo concreto clase C, D=0,25 m	\$ 25,183
B0015240	m	Tubo concreto reforzado 900mm (tipo 1)	\$ 359,345
B0015250	m	Tubo concreto reforzado 900mm (tipo 2)	\$ 346,954
B0015260	m	Tubo concreto simple 450 mm	\$ 102,847
B0015270	m	Tubo concreto simple 500 mm	\$ 123,912
B0015280	m	Tubo concreto simple 600 mm	\$ 161,086
B0015290	m	Tubo concreto simple 750 mm	\$ 229,237
B0015300	m	Tubo corrugado de acero galvanizado MP-68	\$ 127,243
B0015360	m	Tubo metálico con recubrimiento bituminoso de lámina calibre 12 y diámetro de 60"	\$ 116,726
B0015304	m	Tubo metálico de alta resistencia	\$ 53,699
B0015305	m	Tubo Metálico De Alta Resistencia	\$ 51,930
B0015310	u	Tubo para cerramiento, calibre 16 de 2,7m (cerramientos en malla)	\$ 60,469

B0015330	u	Unión en PVC D=2''	\$ 3,775
B0015320	u	Unión en PVC RD21 de 1'' (para anclajes)	\$ 920
B0015334	u	Uniones especiales de alta resistencia para tubería	\$ 33,303
B0015362	u	Uniones Especiales De Alta Resistencia Para Tubería	\$ 30,813
B0015361	kg	Varilla 5/8	\$ 2,855

Anexo 8:

**Aplicación de incentivos
para la utilización de RCD**

Lista de Tablas

Tabla 1. Exención en el pago del impuesto de industria y comercio para nuevas empresas y las existentes.	4
Tabla 2. Propuesta de proceso de gestión de residuos de construcción y demolición para la región.	9
Tabla 3. Cálculo de la disposición de escombros (excavaciones) por m ² de pavimento y costos por generación y retribución por proceso de gestión.	12

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) Huelva.	6
Figura 2. Funcionamiento práctico del proceso de gestión de RCD Huelva.	7

Las políticas públicas nacionales para la utilización de los RCD se enmarcan principalmente en la resolución 0472 de 2017 (MADS, 2017) como se mencionó en el marco conceptual del presente estudio; sin embargo, aunque el objetivo principal de esta resolución es reglamentar la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición, aun no se cuenta con un desarrollo riguroso relacionado con sanciones por inadecuado vertimiento de estos residuos, ni incentivos para su reutilización, tal como lo indica la exposición de motivos de la propuesta de la Ley promotora de la Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición en Colombia de agosto de 2018 y Rosales (2018) en su artículo denominado “Manejo adecuado de los escombros en los municipios: vacíos normativos en la regulación”.

Inicialmente a nivel nacional llevar a cabo actividades que protegen el medio ambiente permitían a las empresas acceder a beneficios tributarios (El Presidente de la Republica de Colombia, 1989) tales como: equipos y elementos que no pagan IVA (artículo 424-5 y 428 del estatuto tributario), deducción en la base de impuesto a la renta (artículo 158-2 del estatuto tributario) y rentas exentas (artículo 207-2 del estatuto tributario); sin embargo, algunos de estos artículos han sido derogados; al día de hoy es tarea de los entes territoriales gestionar e implementar planes de manejo integral de escombros en cumplimiento a la resolución 0472.

Algunas ciudades colombianas pretenden generar incentivos económicos por la utilización de RCD, Medellín, por ejemplo, por medio del acuerdo 066 del 2017, “Normativa sustantiva aplicable a los tributos vigentes en el Municipio de Medellín” (Alcaldía de Medellín, 2017) en el capítulo III, ofrece beneficios tributarios a las empresas de la cadena productiva de los clústeres para los impuestos de industria y comercio y predial unificado. En el clúster o sector de la construcción mencionando de esta forma en el artículo 287:

La actividad de innovación en la elaboración de materiales para construcción con contenido mínimo del 50% de su peso con residuos sólidos de madera, plásticos, cuercos de concreto, ladrillo, cerámica o carpeta asfáltica y sus posibles combinaciones provenientes de construcciones o demoliciones. (Alcaldía de Medellín, 2017).

Adicionalmente, en el artículo 288 del acuerdo 066 del 2017 de la Alcaldía de Medellín “Exención en el pago de impuesto de industria y comercio para nuevas empresas y las existentes” (Alcaldía de Medellín, 2017), se establece lo siguiente:

Tendrán exención en el pago del impuesto de Industria y Comercio los ingresos obtenidos en desarrollo de las actividades de qué trata el artículo anterior, por las empresas existentes o para aquellas que se constituyan durante los cinco (5) años siguientes al 29 de diciembre de 2010, pertenecientes a los clústeres contemplados en el artículo anterior y cuyo domicilio sea el Municipio de Medellín. (Alcaldía de Medellín, 2017).

La exención se concederá, previa solicitud del contribuyente con el cumplimiento de los requisitos, por cinco (5) años a partir de la generación del primer ingreso por el desarrollo de la actividad industrial o de servicios objeto del beneficio (innovación), sin que exceda el 29 de diciembre de 2020 y es gradual en el tiempo, así:

Tabla 1 Exención en el pago del impuesto de industria y comercio para nuevas empresas y las existentes.

Ano de exención - operación	Porcentaje Exento
1	100%
2	80%
3	60%
4	40%
5	20%

Nota. Tomado de *Exención en el pago del impuesto de industria y comercio para nuevas empresas y las existentes*, Acuerdo 066 de 2017 de la Alcaldía de Medellín, 2017.

A nivel internacional, en los países de mayor aprovechamiento de RCD, los factores que han impulsado el reciclaje residen principalmente en políticas de gestión de residuos que ha utilizado instrumentos de tipo económico (impuestos sobre el vertido) y legales (obligación de demoler selectivamente), acuerdos voluntarios, planificación y control.

Holanda, ocupa el primer lugar del ranking de la Unión Europea en gestión de residuos y esto se debe a la gestión llevada a cabo en su capital económica y aplicación de economía circular. El vertido está muy penalizado, con una tasa, introducida en 1995, que también es la más elevada de Europa. Por otro lado, entre los factores más destacables de su modelo es la apuesta por la incineración de residuos desde tiempos inmemoriales con el objetivo de obtener nuevas materias primas.

El artículo acerca del reciclado del concreto promovido por el CSI (Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento) menciona que en Estados Unidos la actividad de reciclaje es impulsada por el apoyo de la FHWA (Administración Federal de Carreteras) al concreto reciclado como agregado en base y subbase vial.

La Sociedad Americana para la Prueba de Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) y la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transporte Estatal (AASHTO) han aceptado al concreto reciclado como fuente de agregados en concreto nuevo. Muchas municipalidades y administraciones estatales están utilizando agregados reciclados en diferentes concentraciones. Algunos elementos de política pública que incentivan al reciclaje son permitir pagar precios más altos por los materiales si se utilizan materiales reciclados en contratos gubernamentales, por ejemplo, en Michigan, o excluir o modificar regulaciones sobre los desechos, por ejemplo, en California, Texas, Virginia y Minnesota.

También en Estados Unidos se ha implementado el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, Leadership in Energy and Environmental Design – LEED, que es la principal herramienta para los sistemas de construcción verde en los Estados Unidos. El LEED es un sistema de puntos que otorga certificaciones con calificaciones en torno a construcciones que puedan implementar: Desarrollo sostenible, incluyendo el manejo responsable de los RCD, ahorro de agua, eficiencia energética, selección de materiales, incluyendo el uso de materiales reciclados, y calidad medioambiental interior.

El artículo también menciona que en el Reino Unido se han implementado tarifas e impuestos sobre el vertimiento de desechos para incentivar la utilización de agregados

recicladados e incluye ayudas económicas para proyectos de infraestructuras de reciclaje y para la investigación de la reducción de barreras de regulación otros estudios por medio del programa WRAP. En Dinamarca, los impuestos sobre la disposición de desechos han impulsado el reciclaje.

En la ciudad de Huelva, España, se ha desarrollado una interesante estrategia para la regulación de la tasa por recogida de escombros, la cual consiste en un sistema de cupones otorgados en cada uno de los procesos de la generación y gestión de residuos de la construcción y que según su clasificación al finalizar el proceso le puede generar una ayuda económica al productor de escombros en la obligación del pago de la tasa legal de vertimiento.



Figura 1 Proceso de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) Huelva.

En las figuras 1 y 2 tomadas del Anexo “Estudio nacional e internacional de modelos de gestión de residuos” del Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife, se puede observar el proceso mencionado.

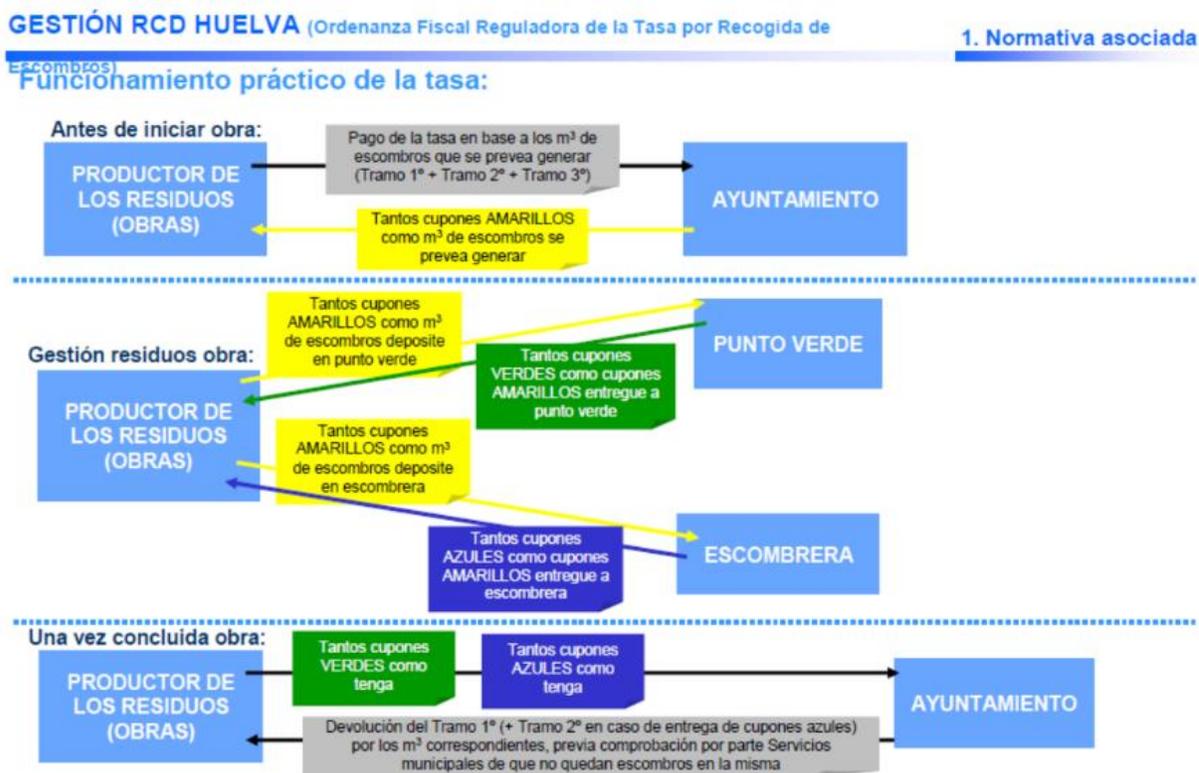


Figura 2 Funcionamiento práctico del proceso de gestión de RCD Huelva.

Nota. Adaptado de *gestión RCD*, Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife.

El proceso plasmado en la figura 2 se desarrolla de la siguiente manera (descripción elaborada por el presente estudio): el productor de residuos debe prever la cantidad de escombros que se generaran en el proyecto u obra, esta cantidad es lo que debe pagar por obligación al ayuntamiento o entidad de control local, quien a su vez le otorga la cantidad de cupones amarillos equivalentes a la cantidad de metros cúbicos de residuo o escombros indicados anteriormente. Los cupones amarillos deben estar fichados con los datos legales para el proyecto, además señalan los puntos de cajeo.

Los cupones amarillos pueden ser canjeados en lugares denominados “puntos verdes” por cupones verdes y en “escombreras autorizadas” por cupones azules. Una vez la obra o proyecto ha finalizado, el productor de residuos puede gestionar en el ayuntamiento la devolución de los tramos del proceso de gestión así: Cupones verdes, devolución del tramo 1 y cupones azules devolución de tramo 1+2.

Los tramos corresponden a la composición de la tasa o impuesto por vertimiento, tramo 1: transporte de escombros de punto de generación a punto verde o escombrera autorizada, tramo 2: traslado de residuos de puntos verdes a escombrera y tramo 3: tratamiento de residuos en escombreras y gastos de administración, gestión y recaudación.

Propuesta para Aplicación de Incentivos Para la Utilización de RCD

De acuerdo con el análisis económico y de impacto ambiental que se ha realizado en el presente estudio, los procesos para la utilización de RCD tienen bastantes implicaciones que, en países como Colombia, no han permitido un amplio desarrollo; es así como en la política pública nacional no existen en general incentivos que promuevan la gestión.

En el presente se propone la aplicación de incentivos planteando un proceso de regulación de tasa por recogida de escombros similar a la aplicada en la ciudad de Huelva, España; de esta manera se analiza como el proceso puede motivar a que los productores de RCD de la región, se involucren en el reciclaje de materiales de construcción, una vez encuentren beneficios en la disminución de pagos legales por transporte y vertimiento de estos en las escombreras autorizadas por los municipios.

Para el propósito del proceso planteado, se indaga acerca del precio por transporte promedio y disposición de m³ de residuos de construcción en una de las escombreras municipales autorizadas en Nariño y se realiza una equivalencia con el proceso de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) de Huelva, como se presenta en la tabla 2 y sus observaciones. Hay que tener en cuenta que, para propósitos de funcionamiento del proceso propuesto, las políticas públicas y normativa en cuanto a la prohibición de

vertimiento en lugares prohibidos debe ser de estricto cumplimiento; por otro lado, todos los procesos constructivos tanto de las entidades privadas y públicas deben estar controladas por un agente interventor y/o supervisor para el cumplimiento de políticas de vertimiento y cuantificación real del material de desalojo de obras de construcción.

Tabla 2 Propuesta de proceso de gestión de residuos de construcción y demolición para la región.

	Concepto	Costo /m3	Observación
Tramo 1	Transporte de escombros a punto verde o escombrera por parte de servicios municipales	\$ 14285.71	Este valor correspondería al costo promedio que se cobraría por transporte de escombros del punto de generación al punto de depósito en escombreras municipales autorizadas. (Valor estimado a partir de indagaciones del precio de esta actividad en el mercado actual)
Tramo 2	Depósito de residuos en escombrera o puntos de tratamiento no especiales.	\$ 4285.71	Este valor correspondería al costo promedio que se cobraría por depósito de escombros en sitios autorizados por el municipio. (Valor estimado a partir de indagaciones del precio de esta actividad en el mercado actual)
Tramo 3	Tratamiento de residuos en puntos de tratamiento especiales como plantas de trituración u otras. Incluye gastos de administración, gestión y recaudación	\$ 10714.29	Este valor correspondería al costo por tratamiento de escombros en lugares especiales destinados por el municipio para estas actividades. (Valor estimado a partir del costo de producción de RCD obtenido en el capítulo anterior, descontando el costo de transporte, depósito y que al menos el 50% de los costos de tratamiento serán compensados en el segundo uso que se le pueda dar al material)
	Tasa total	\$ 29285.71	

Observaciones

El precio equivalente a \$29286 correspondería al valor por m^3 de residuos que se generen en una obra y que se debe pagar de forma obligatoria al municipio.

Un agente interventor o de control entrega al productor de escombros o contratista tantos cupones amarillos como m^3 se producen en el proceso constructivo.

Una vez los residuos generados lleguen a la escombrera autorizada por el municipio estos harán un canje de cupones.

El productor de escombros o contratista canjea los cupones amarillos por cupones verdes con los encargados del transporte por parte de los servicios municipales, tantos cupones verdes en una equivalencia a la cantidad de m^3 que se lleven a la escombrera.

Una vez los residuos generados lleguen a la escombrera, la municipalidad evaluará de acuerdo condiciones del residuo, si se podrán tratar y deberá llevarse a un punto de tratamiento especial. (A estos puntos solo se llevarían para depósito materiales inertes reutilizables como concretos o RCD).

El productor de escombros o contratista podrá canjear los cupones verdes por cupones azules en una equivalencia a la cantidad de m^3 que se lleven al punto de tratamiento especial.

Una vez concluida la obra el contratista podría solicitar al municipio, de acuerdo con la cantidad de cupones verdes o azules que tenga, la reintegración de ciertos costos, que para efectos del este estudio se proponen así:

- **Por cupones Verdes:** puede pedir la reintegración del 50% del costo transporte de escombros tramo 1 ($0.5 * \$14286 = \7143)
- **Por cupones Azules:** puede pedir la reintegración de costo por transporte de escombros del tramo 1, más depósito de residuos de escombrera a puntos de tratamiento no especial tramo 2 ($\$14286 + \$4286 = \$18572$)

Según las anteriores observaciones, se podría tener una retribución hasta del 64% de la tasa o valor por m³ de material de residuos generados en una obra en el caso de pedir reintegración por cupones azules.

Como valor agregado y siguiendo la dinámica propuesta por Huelva, se propondría que, si el productor presenta los respectivos estudios y evidencia de desarrollo de actividades con la utilización de RCD, la municipalidad puede otorgar exoneración de un porcentaje del valor del costo del tramo 3, es decir el costo de tratamiento especial del residuo y otorgar un certificado como contribuyente en beneficio del medio ambiente.

Una vez desglosada la propuesta de proceso de gestión de residuos de construcción y demolición para la región, se aplica al ejercicio de análisis económico que se realizó en el capítulo Análisis económico mediante herramienta HDM 4 y software para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA 1984 de la Universidad del Cauca del presente estudio.

Se puede involucrar un incentivo en el vertimiento de las excavaciones producto del cajeo para la colocación de una estructura de pavimento, es decir que la adecuada disposición final del volumen de material de excavación genere una retribución de los pagos a escombreras municipales.

Se tendrá en cuenta que la losa de pavimento, cualquiera que sea su espesor debe alcanzar una misma cota de terminado, y que además por diseño debe contar con una subbase de apoyo de 20 cm de espesor; de esta manera, se calcula la cantidad de excavación por m² de losa de pavimento por tipo de mezcla, como se observa en la tabla 3, y con el precio determinado en la propuesta de proceso de gestión de residuos de construcción y demolición para la región se obtendrá un costo de disposición de excavaciones por unidad de área por tipo de mezcla y un posible valor de retribución del mismo tanto por disposición del material en sitios adecuados como por el uso de porcentajes de RCD en producción del pavimento.

Tabla 3 Cálculo de la disposición de escombros (excavaciones) por m² de pavimento y costos por generación y retribución por proceso de gestión.

Materiales		Mezcla tipo 1-	Mezcla tipo 2-	Mezcla tipo 3-	Mezcla tipo 4-	Mezcla tipo 5-
		solo Agregado natural	25 % Agregado reciclado	50 % Agregado reciclado	75 % Agregado reciclado	100 % Agregado reciclado
Espesor de pavimento	mm	171.0	177.0	188.0	188.0	198.0
Volumen de pavimento	m³/m²	0.171	0.177	0.188	0.188	0.198
Volumen de subbase	m³/m²	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Volumen total de excavación	m³/m²	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40
Costo por generación de escombros/m³	\$/m³	29286	29286	29286	29286	29286
Costo por generación de escombros/m²	\$/m²	10865	11041	11363	11363	11656
Retribución por cupones verdes	50%T1	7143	7143	7143	7143	7143
	\$/m²	2650	2693	2771	2771	2843
Retribución por cupones azules	T1+T2	18572	18572	18572	18572	18572
	\$/m²	6890	7002	7206	7206	7392
Retribución por reutilización de RCD en obra	%RCD-T3	0%*10714	25%*10714	50%*10714	75%*10714	100%*10714
	\$/m²	\$ 0	1010	2079	3118	4264

De acuerdo con la tabla anterior se puede determinar que, si un constructor utiliza en la construcción de un pavimento rígido una mezcla de concreto tipo 5, el costo inicial por la generación de escombros por cada m² excavado sería de \$11656 (0.40*\$29286), de los cuales el constructor podría solicitar al municipio retribución en los siguientes casos:

- Entregando tantos cupones verdes por cada m³ de residuos de construcción enviados a la escombrera autorizada, se le recompensaría el 50% de la tarifa establecida para el transporte, en este caso \$2843 por cada m² (0.50*0.40*\$14286).
- Entregando tantos cupones azules en una equivalencia a la cantidad de m³ de RCD llevados al punto de tratamiento especial, es decir separando los residuos que serían reutilizados, se le retribuiría el valor de la suma del tramo 1 más el tramo 2, en este caso \$7392 por m² (0.40*(14286+4286)).

- Adicionalmente, por utilizar concreto producido con agregado grueso 100% reciclado, se le exonera en el total del valor del costo del tramo 3, en este caso \$4264 por m² (0.40*1.00*10714).

Así entonces, aunque parten de propuestas tomadas en otros países, y que para ser aplicados y adaptados a la región deben implementarse inicialmente políticas que permitan el desarrollo efectivo de buen vertimiento de residuos de construcción, permiten tener una concepción de como los incentivos en el manejo de residuos de construcción pueden generar retribución económica a los productores de los mismos que motiven y contribuyan no solo a nivel económico sino por el bienestar del medio ambiente.