

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE
RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS
COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN
SUB-BASE DE CARRETERAS

PARTE 1

Asignatura: Prácticas Profesionales Supervisadas

Alumno: Goy, Pablo Javier

Matrícula: 200404610

Plan: 2005

Expediente: 10/17

Año: 2017

Tutor: Mgter. Ing. Miguel Rico

Supervisor externo: Ing. Adolfo Frateschi

1. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a todas las personas que nos ayudaron a realizar este trabajo y en especial a nuestra familia que nos acompañó es todo este camino.

También agradecer al Ingeniero Rico Miguel, que nos acompañó a lo largo de todo el trabajo, y además nos transmitió todos sus conocimientos y experiencias en la ingeniería.

Amigos y compañeros, que fueron parte de este proceso, compartiendo el día a día y apoyando en cada momento.

2. RESUMEN

El desarrollo de la presente Práctica Profesional Supervisada, procura alcanzar como objetivo general el obtener experiencia práctica complementaria aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Se emplearán los conceptos adquiridos durante el cursado de las distintas materias, adecuadas a la necesidad de esta temática.

Actualmente, a causa de que la ciudad de Córdoba está creciendo de manera constante, se vive una problemática ambiental debido a la gran cantidad de residuos provenientes de la construcción y demolición (RCD) lo que provoca el aumento de los vertederos de residuos, y además teniendo en cuenta el problema cada vez mayor de encontrar y utilizar recursos naturales, el objeto del presente informe es plantear si es viable tanto técnica como económicamente la utilización de estos materiales reciclados de RCD en la construcción de pavimentos como capa de sub-base para de esta manera reemplazar a los materiales naturales.

Para el estudio se han caracterizado los materiales identificando sus características físicas, teniendo en cuenta la granulometría, ya que el material se presentaba en diversos tamaños, el desgaste del material, factor de cubicidad, limite líquido y plástico, equivalente de arena. Mientras que para su comportamiento mecánico se realizaron los ensayos de compactación Proctor y CBR. Durante el proceso de laboratorio, se han identificado que los materiales presentaron alto desgaste, pero realizando mezclas del mismo y analizando su comportamiento mecánico, se concluye que puede ser utilizado en la estructura del pavimento como sub-base.

Cabe aclarar que la normativa técnica que regula el uso de estos materiales en Argentina es prácticamente inexistente, pero se tiende a exigir a estos materiales reciclados las mismas características que a los materiales naturales de cantera. Conforme esto, también se ha utilizado como referencia la guía española de áridos reciclados procedentes de RCD (Proyecto GEAR).

Avanzando en el estudio de la utilización de materiales reciclados de RCD se consigue seguir aumentando los beneficios ambientales que supone emplear estos materiales:

- Empuje al mercado de áridos reciclados, lo que conlleva una disminución del volumen de escombros que se depositan en vertederos.
- Reducción del número de explotaciones (canteras) necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto ambiental y de protección de recursos naturales.
- Minimización del impacto ambiental global del sector de la construcción.
- Generación de nuevos puestos de trabajo.

ÍNDICE GENERAL

1. AGRADECIMIENTOS	2
2. RESUMEN	3
3. INTRODUCCIÓN	14
3.1 EL HECHO OBSERVADO	14
3.2 PLANTEO DEL PROBLEMA	18
3.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	18
3.4 ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA	18
3.5 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO DE INVESEGACIÓN	20
4. MARCO JURÍDICO EN RELACION A LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION	22
4.1 INTRODUCCIÓN	22
4.2 LEGISLACION NACIONAL	22
4.2.1 Constitución de la Nación Argentina	22
4.2.2 Ley Nº 25.675 - Política Ambiental Nacional	22
4.2.3 Ley Nº 25.612 - Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicio	23
4.2.4 Ley Nº 25.916 - Gestión Integral de Residuos Domiciliarios	25
4.3 LEGISLACION PROVINCIAL	26
4.3.1 Ley Nº 7.343 – Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente	26
4.3.2 Ley Nº 13.428 – Política Ambiental Provincial	26

4.3.3	Ley N° 9.088 - Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Asimilables a los RSU	28
4.4	LEGISLACION MUNICIPAL	30
4.4.1	Ordenanza Municipal N° 9.612 y Decreto Reglamentario 144 E/99	30
4.4.2	Ordenanza Municipal N° 12.468 - Código de Convivencia Ciudadana .	30
4.4.3	Ordenanza Municipal N° 12.482 - Ordenanza Tarifaria Anual (OTA)	30
4.4.4	Ord. Municipales N° 8116/N°10.214-Higiene Obligatoria de Inmuebles y construcciones / Decretos Reglamentarios N° 822-G-86 y N° 047/15	31
4.5	CONCLUSIONES	31
5.	MATERIALES Y ENSAYOS DE LABORATORIO	33
5.1	MATERIALES	33
5.2	COMPOSICIÓN DE LOS ÁRIDOS DE RCD	35
5.3	ENSAYOS DE LABORATORIO	39
5.3.1	GRANULOMETRIA	39
5.3.2	LÍMITE LÍQUIDO	53
5.3.3	LÍMITE PLÁSTICO	55
5.3.4	CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B.	57
5.3.5	EQUIVALENTE DE ARENA	59
5.3.6	DESGASTE	61
5.3.7	FACTOR DE CUBICIDAD	63
5.3.8	COMPACTACIÓN	64
5.3.9	DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE RELATIVO	74

6. CONCLUSIÓN TÉCNICA	81
7. CONCLUSIÓN ECONÓMICA	83
8. BIBLIOGRAFÍA	87
9. ANEXO	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Composición de los RCD.....	14
Figura N° 2. Cantidad de RCD en Cantera Piedras Blancas	15
Figura N° 3. Plan de gestión de RCD (2015).....	17
Figura N° 4. Plan de gestión de RCD futuro	17
Figura N° 5. Muestra árido reciclado mixto de hormigón	33
Figura N° 6. Muestra árido reciclado de hormigón (grueso)	34
Figura N° 7. Muestra árido reciclado de hormigón (intermedio)	34
Figura N° 8. Muestra árido reciclado de hormigón (fino).....	35
Figura N° 9. Muestra árido reciclado de RCD mixto.....	36
Figura N° 10. Composición muestra árido reciclado mixto de hormigón	37
Figura N° 11. Composición muestra árido reciclado de hormigón fraccionado (Eco- grancilla)	38
Figura N° 12. Granulometría – Cuarteo / Figura N° 13. Granulometría - Zarandeo.....	40
Figura N° 14. Granulometría – Retenido T N° 200.....	40
Figura N° 15. Curva granulométrica suelo arena Beranek.....	41
Figura N° 16. Curva granulométrica suelo arena Canello	42
Figura N° 17. Curva granulométrica suelo arena San Ignacio	43
Figura N° 18. Curvas granulométricas suelo arena y entornos.....	44
Figura N° 19. Curva granulométrica árido triturado 0-20	45
Figura N° 20. Curva granulométrica árido triturado 0-6.....	46

Figura N° 21. Curvas granulométricas mezclas de áridos triturados y entornos	47
Figura N° 22. Curva granulométrica árido reciclado mixto de hormigón	48
Figura N° 23. Curva granulométrica árido reciclado mixto de hormigón y entornos	49
Figura N° 24. Curva granulométrica Eco-grancilla	50
Figura N° 25. Curva granulométrica Eco-arena gruesa	51
Figura N° 26. Curva granulométrica Eco-arena fina.....	52
Figura N° 27. Curvas granulométricas mezclas de áridos reciclados de hormigón fraccionado y entornos	53
Figura N° 28. Límite líquido.....	54
Figura N° 29. Limite plástico	56
Figura N° 30. Equivalente de arena.....	59
Figura N° 31. Desgaste – Máquina Los Ángeles.....	62
Figura N° 32. Desgaste – Material resultante del desgaste	62
Figura N° 33. Compactación – Máquina compactadora / Figura N° 34. Compactación – Toma de muestra	65
Figura N° 35. Curva de compactación suelo arena Beranek	66
Figura N° 36. Curva de compactación suelo arena Canello	67
Figura N° 37. Curva de compactación suelo arena San Ignacio	68
Figura N° 38. Curva de compactación mezcla 1 (árido triturado)	69
Figura N° 39. Curva de compactación mezcla 2 (árido triturado)	70
Figura N° 40. Curva de compactación árido reciclado mixto de hormigón.....	71
Figura N° 41. Curva de compactación mezcla 1 (ARH)	72

Figura N° 42. Curva de compactación mezcla 2 (ARH)	73
Figura N° 43. Curva de compactación mezcla 3 (ARH)	74
Figura N° 44. CBR – Probetas a sumergir / Figura N° 45. CBR – Colocación de probeta	75
Figura N° 46. CBR – Penetración / Figura N° 47. CBR – Probeta ensayada	75
Figura N° 48. Curvas CBR vs Densidad suelo arena	77
Figura N° 49. Curvas CBR vs Densidad árido triturado	78
Figura N° 50. Curvas CBR vs Densidad árido reciclado de RCD	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de RCD en Cantera Piedras Blancas.....	15
Tabla 2. Cantidad de RCD en Escombrera Municipal.....	16
Tabla 3. Composición muestra árido reciclado mixto de hormigón	37
Tabla 4. Composición muestra árido reciclado de hormigón fraccionado (Eco-grancilla).....	38
Tabla 5. Clasificación de suelos H.R.B.....	58
Tabla 6. Resumen compactación.....	74
Tabla 7. Resumen CBR	80
Tabla 8. Costos de materiales y fletes	83
Tabla 9. Costos de materiales para sub-base	84
Tabla 10. Granulometría suelo arena Beranek.....	88
Tabla 11. Granulometría suelo arena Canello.....	88
Tabla 12. Granulometría suelo arena San Ignacio	89
Tabla 13. Granulometrías suelos arena y entornos	89
Tabla 14. Granulometría árido triturado 0-20	90
Tabla 15. Granulometría árido triturado 0-6.....	91
Tabla 16. Granulometrías mezclas áridos triturados y entornos.....	91
Tabla 17. Granulometría árido reciclado mixto de hormigón	92
Tabla 18. Granulometría Eco-grancilla	92
Tabla 19. Granulometría Eco-arena gruesa	93
Tabla 20. Ensayo de Granulometría Eco-arena fina	93

Tabla 21. Granulometría mezclas de áridos reciclados de hormigón fraccionado y entornos	95
Tabla 22. Límite líquido suelo arena Beranek	96
Tabla 23. Límite líquido suelo arena Canello	96
Tabla 24. Límite líquido suelo arena San Ignacio.....	96
Tabla 25. Límite líquido árido triturado 0-20	97
Tabla 26. Límite líquido árido reciclado mixto de hormigón	97
Tabla 27. Límite líquido Eco-grancilla	98
Tabla 28. Límite líquido Eco-arena gruesa	98
Tabla 29. Límite líquido Eco-arena fina	99
Tabla 30. Límite plástico suelo arena Beranek.....	99
Tabla 31. Límite plástico suelo arena Canello.....	100
Tabla 32. Límite plástico suelo arena San Ignacio	100
Tabla 33. Límite plástico árido reciclado mixto de hormigón	101
Tabla 34. Equivalente de arena árido reciclado mixto de hormigón	101
Tabla 35. Equivalente de arena Eco-arena fina	102
Tabla 36. Desgaste Los Ángeles árido reciclado mixto de hormigón	102
Tabla 37. Desgaste Los Ángeles Eco-grancilla.....	102
Tabla 38. Factor de cubicidad árido reciclado mixto de hormigón	103
Tabla 39. Factor de cubicidad Eco-grancilla.....	103
Tabla 40. Compactación suelo arena Beranek.....	104
Tabla 41. Compactación suelo arena Canello.....	104

Tabla 42. Compactación suelo arena San Ignacio	104
Tabla 43. Compactación mezcla 1 (árido triturado)	105
Tabla 44. Compactación mezcla 2 (árido triturado)	105
Tabla 45. Compactación árido reciclado mixto de hormigón	105
Tabla 46. Compactación mezcla 1 (ARH fraccionado)	105
Tabla 47. Compactación mezcla 2 (ARH fraccionado)	106
Tabla 48. Compactación mezcla 3 (ARH fraccionado)	106
Tabla 49. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena Beranek	106
Tabla 50. Lecturas de dial – Suelo arena Beranek	107
Tabla 51. CBR vs. Densidad – Suelo arena Beranek	107
Tabla 52. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena Canello	107
Tabla 53. Lecturas de dial – Suelo arena Canello	108
Tabla 54. CBR vs. Densidad – Suelo arena Canello	108
Tabla 55. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena San Ignacio	108
Tabla 56. Lecturas de dial – Suelo arena San Ignacio	109
Tabla 57. CBR vs. Densidad – Suelo arena San Ignacio	109
Tabla 58. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 1 (árido triturado)	109
Tabla 59. Lectura de dial – Mezcla 1 (árido triturado)	110
Tabla 60. CBR vs. Densidad – Mezcla 1 (árido triturado)	110
Tabla 61. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 2 (árido triturado)	110
Tabla 62. Lectura de dial – Mezcla 2 (árido triturado)	111

Tabla 63. CBR vs. Densidad – Mezcla 2 (árido triturado)	111
Tabla 64. Compactación de probetas para CBR – Árido reciclado de mixto de hormigón	111
Tabla 65. Lecturas de dial – Árido reciclado mixto de hormigón.....	112
Tabla 66. CBR vs. Densidad – Árido reciclado mixto de hormigón	112
Tabla 67. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 1 (ARH).....	112
Tabla 68. Lecturas de dial – Mezcla 1 (ARH)	113
Tabla 69. CBR vs. Densidad – Mezcla 1 (ARH)	113
Tabla 70. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 2 (ARH).....	114
Tabla 71. Lecturas de dial – Mezcla 2 (ARH)	114
Tabla 72. CBR vs. Densidad – Mezcla 2 (ARH)	114
Tabla 73. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 3 (ARH).....	115
Tabla 74. Lecturas de dial – Mezcla 3 (ARH)	115
Tabla 75. CBR vs. Densidad – Mezcla 3 (ARH)	115

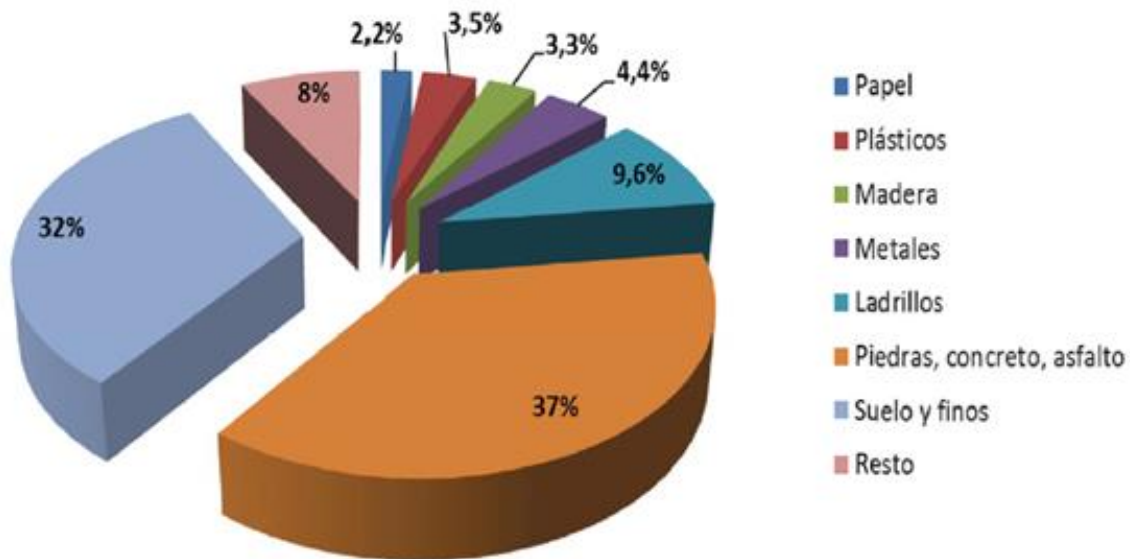
3. INTRODUCCIÓN

3.1 EL HECHO OBSERVADO

El auge de la industria de la construcción en la ciudad de Córdoba en los últimos años, ha aumentado considerablemente la producción de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), agravando el problema ambiental que se deriva de una gestión inadecuada, como es su vertido incontrolado.

Los RCD son los residuos generados por las actividades de construcción, remodelación, rehabilitación, reforma, demolición y mantenimiento de edificios o infraestructuras en general: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, cristales, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, plásticos, yesos, maderas, y otros desechos (algunos peligrosos como latas de pintura y asbestos).

Figura N° 1. Composición de los RCD



Se estima que se valoriza alrededor del 15% - 40% de los RCD, lo que resulta insostenible teniendo en cuenta que se generan entre 200 y 400 mil toneladas anuales en la ciudad. Por ende es necesario promover el uso de materiales reciclados en las obras, esto significará la consolidación de un subsector económico vinculado por vocación al desarrollo sostenible y poder reinsertar en el ciclo productivo dichos materiales.

Tabla 1. Cantidad de RCD en Cantera Piedras Blancas

Cantera Piedras Blancas			
Datos	2012	2013	2014
	[Ton]	[Ton]	[Ton]
Limpieza de basurales	201.013	106.573	53.736
Terceros contenerizados	76.209	88.340	92.576
TOTAL	277.222	194.913	146.312

Figura N° 2. Cantidad de RCD en Cantera Piedras Blancas

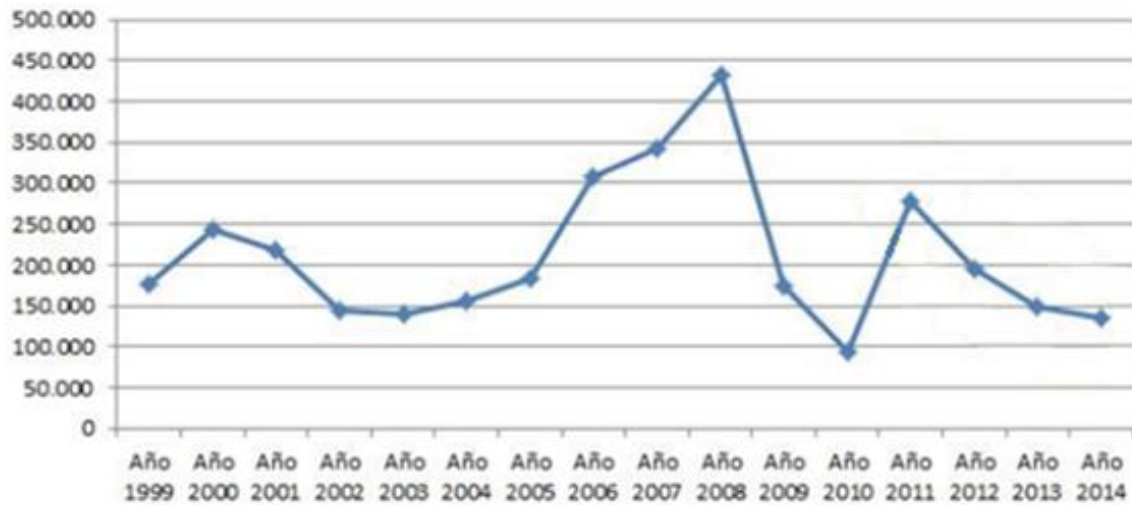


Tabla 2. Cantidad de RCD en Escombrera Municipal

Escombrera Municipal					
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
	[Ton]	[Ton]	[Ton]	[Ton]	[Ton]
Total mensual	9.432	13.113	14.885	13.938	13.198
Promedio mensual	12.913				
Disposición estimada anual	154.958				
Disposición total anual	362.108				

Entre las razones por las que no se logra alcanzar una alta tasa de reciclado, se pueden citar, el que su depósito en vertedero sin tratamiento previo tiene un costo muy bajo, los altos costos de transporte y tratamiento de los residuos, el bajo valor de los áridos reciclados y la falta de conciencia ambiental. Desde un punto de vista puramente económico el reciclaje de RCD solo es atractivo cuando el producto reciclado es competitivo con los recursos naturales en relación a su costo y calidad. Los materiales reciclados normalmente serán competitivos donde haya escasez de materias primas y lugares adecuados de depósito. La deposición final de los RCD en la ciudad de Córdoba se realiza por medio de camiones volquetes y/o carros en la escombrera municipal, basurales a cielo abierto y canteras.

La ventaja más destacada de este reciclaje es la solución, a un mismo tiempo, de la problemática originada por la gran cantidad de residuos que se destinan a vertedero sin aprovechamiento, así como la obtención de una nueva materia prima, con lo que se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.

La adecuada gestión de los RCD debe incluir la minimización y selección en origen, la valorización y el transporte seguro a sitios de disposición autorizado y debidamente gestionado, evitando la generación de basurales a cielo abierto (BCA). Entre los impactos ambientales negativos de los BCA se pueden mencionar: el deterioro del paisaje, la contaminación de suelo y agua, la ocupación de la vía pública, la mezcla con otros

residuos; los altos costos de gestión , el deterioro de suelos aptos para otros usos e impactos socioeconómicos.

En cualquier estrategia de gestión de residuos es fundamental conocer los actores involucrados en la generación, el transporte, los depósitos irregulares y autorizados, la cantidad de residuos que se generan, su calidad y tipología, los flujos de residuos en el medio urbano y las vías de valorización para los materiales.

Figura N° 3. Plan de gestión de RCD (2015)

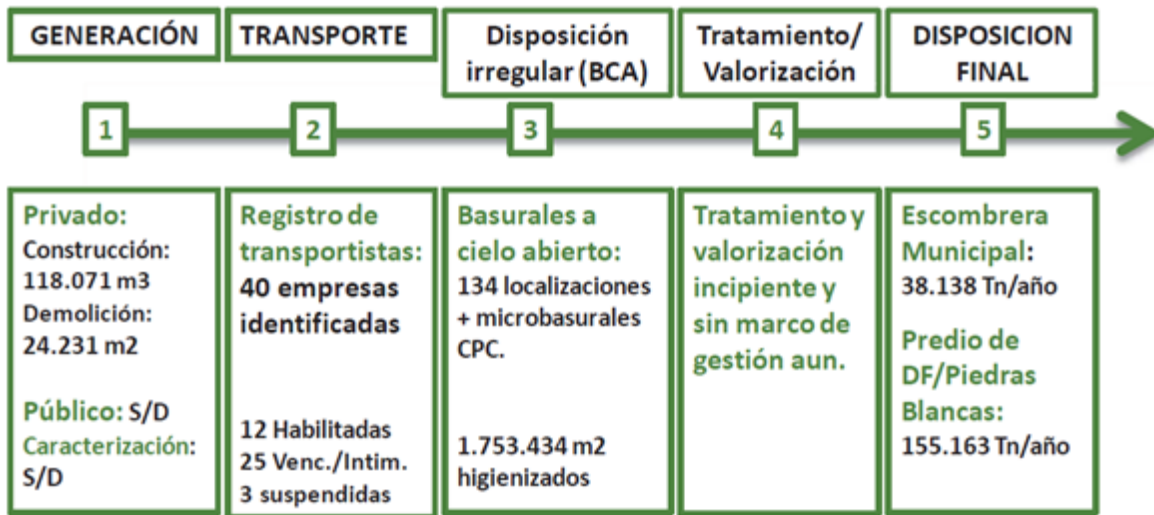
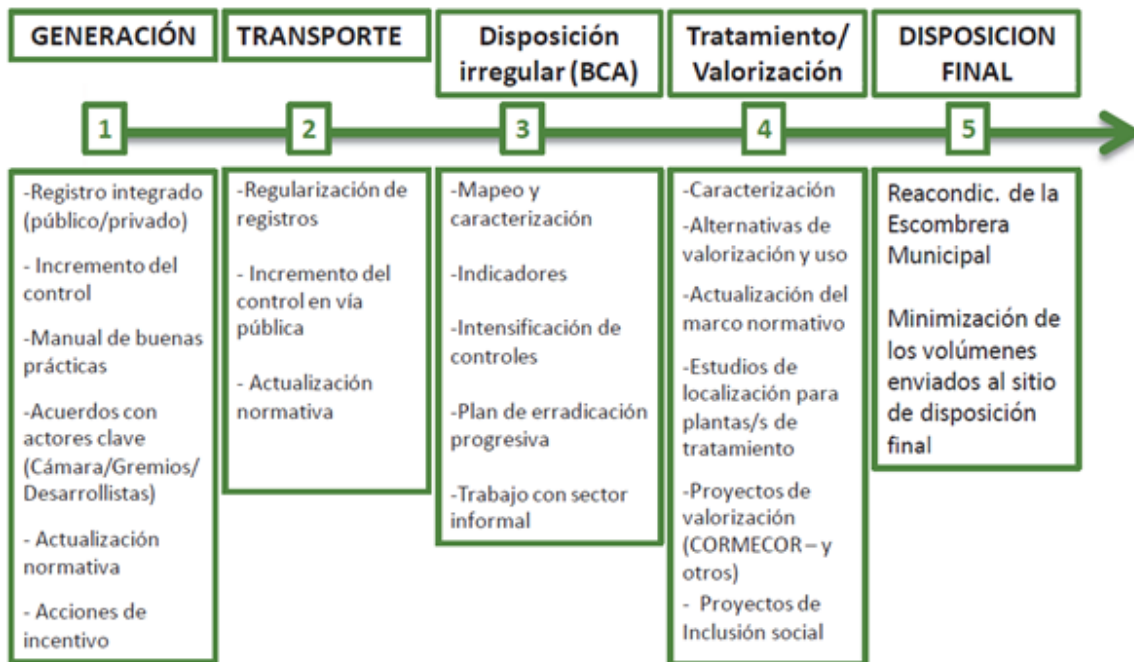


Figura N° 4. Plan de gestión de RCD futuro



3.2 PLANTEO DEL PROBLEMA

Frente a lo expuesto anteriormente, la pregunta que ha motivado la investigación llevada adelante en este trabajo es: ¿Es viable, tanto técnica como económicamente, la utilización de áridos reciclados de RCD como material de sub-base granular?

3.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Los estudios se han desarrollado partiendo de la siguiente hipótesis fundamental: “A los materiales reciclados de RCD sometidos a un pre-cribado para eliminar tierras y partículas de yeso que habitualmente van en la fracción fina del mismo, así como también procediendo a la trituración del material con una posterior separación de impurezas (vidrio, madera, metales, etc.) y con un cribado de acuerdo a las fracciones deseadas, es posible reutilizarlos”.

Sustentándose en la hipótesis mencionada, la investigación ha tenido los siguientes objetivos:

- General:
 - Determinar las condiciones para las cuales los áridos reciclados de RCD, podrían ser reutilizados en la ejecución de sub-bases granulares.
- Específicos:
 - Determinar a través de una evaluación técnica, que dosificación de este material correspondería para una mezcla apta.
 - Realizar una evaluación económica entre mezclas material reciclado y comercial.

3.4 ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

- Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición

El proyecto GEAR ha sido una iniciativa de la Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD), que desde su fundación en el año 1994 ha tenido como uno de sus objetivos prioritarios la normalización y promoción de los áridos y materiales reciclados procedentes del tratamiento de los RCD destinados a mejorar la calidad de los áridos reciclados, garantizar la adecuación de sus aplicaciones y

usos, y con el objetivo final de desarrollar y consolidar en España un mercado de los áridos reciclados en el marco de la construcción sostenible.

El proyecto se ha desarrollado en el marco de Proyectos de Desarrollo Experimental del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, y que se ha elaborado en el periodo 2008-2011.

El proyecto ha contado con la participación directa de 24 empresas de reciclaje de RCD en España, 4 universidades, 3 Centros Públicos de Investigación, a los que se han incorporado, a través de la creación de la Red de Entidades Colaboradores, cerca de 40 nuevas plantas de reciclaje, 5 nuevas Universidades, y un buen número de organismos públicos, empresas constructoras, laboratorios y despachos de ingeniería, que han sometido al procedimiento de seguimiento y análisis del proyecto a más de 80 obras de construcción como tramos experimentales en las que se han utilizado árido reciclado caracterizado.

El objetivo de esta Guía ha sido caracterizar técnicamente y estandarizar los áridos reciclados a partir del reciclaje de los RCD en la búsqueda de las mejores aplicaciones y usos en obra pública y privada, garantizando la durabilidad y su comportamiento mecánico y medioambiental. Esta guía, presenta los requisitos técnicos que deben cumplir los áridos reciclados y establece las prescripciones técnicas particulares para los usos recomendados.

- Arm (2001)

Indicó que la rigidez de una capa de sub-base de árido reciclado de hormigón aumenta con el tiempo debido a las propiedades auto-cementantes que posee este material.

- Motta (2005)

Analizó los aspectos físicos y el comportamiento mecánico de un RCD de la ciudad de São Paulo de Brasil, para emplearlo en capas de base y sub-base granular en vías de bajo volumen de tráfico. Analizó el RCD en su condición natural y adicionado con 4% de cal y 4% de cemento Portland, con el objeto de incrementar la resistencia del material. Concluyó que el RCD estudiado tiene un alto potencial para ser empleado en pavimentos, debido a sus propiedades físicas y mecánicas.

- Poon y Chan (2005)

Desarrollaron un estudio en la Universidad Politécnica de Hong Kong para investigar la posibilidad de utilizar áridos reciclados de hormigón (ARH) y ladrillos de arcilla triturada en forma de agregados de materiales no consolidados para sub-base. Los resultados mostraron que el uso de 100% de ARH aumentó el contenido de humedad óptimo y la disminución de la densidad máxima en seco de los materiales en comparación con las de los materiales naturales de la sub-base. Por otra parte, la sustitución de los ARH por ladrillo de arcilla machacada aumentaba el contenido de humedad óptimo y disminuía de la densidad seca máxima. Esto se atribuyó principalmente a las partículas de menor densidad y una mayor absorción de agua por el ladrillo de arcilla triturado en comparación con los de los agregados reciclados de hormigón. Los valores de CBR en condición no saturada de los materiales de sub-base preparadas con 100% de ARH eran más bajos que los de aquellos con áridos naturales (AN) de la sub-base. Los valores del CBR se

redujeron aún más a medida que el nivel de reemplazo de áridos reciclados de hormigón y ladrillo de arcilla triturada aumentaba. Sin embargo, los valores de CBR en condición saturada para todas las sub-bases de reciclados fueron mayores al 30%, que es la resistencia mínima requisito establecida en Hong Kong. Además, el porcentaje de hinchamiento para todas las sub-bases eran menos de 0,13%, lo que puede ser considerado insignificante.

- Vegas, Ibáñez, San José y Urzelai (2008)

Indicaron que las propiedades más críticas de los áridos reciclados de RCD para su uso como material granular en capas estructurales son el contenido de azufre y la resistencia a la fragmentación.

- Jiménez y Agrela (2011)

Realizaron una evaluación técnica de tres áridos reciclados de hormigón (ARH), procedentes de tres plantas de tratamiento con diferentes procesos de reciclado situadas en Córdoba (España), como material para la construcción de sub-bases de carreteras. Los AR de RCD se han evaluado como zahorras para la construcción de sub-bases de carreteras. Los resultados muestran que los ARH cumplen todas las especificaciones del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras de España (PG-3) para su uso en capas estructurales (sub-base) de las categorías de tráfico T3 y T4. Los resultados se compararon con una zahorra artificial caliza como árido natural.

- Quintero y Embus - Rengifo y Chávez (2015)

Estudiaron las características físicas y mecánicas del RCD provenientes de la ciudad de Cali Colombia, obteniendo que el RCD no clasifica para ser utilizado en las capas de base y sub-base para pavimentos en Colombia ya que no cumplen con todos los requerimientos técnicos que se encuentran en el manual de INVIAS, sin embargo estudiaron el comportamiento mecánico del mismo material haciendo una variación en el contenido de humedad de compactación obteniendo como resultados que el RCD puede ser utilizado en bases y sub-bases del para niveles de transito bajo y medio.

3.5 LUGAR DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO DE INVEIGACIÓN

El trabajo se ha desarrollado durante los años 2016 y 2017 en el Laboratorio Vial de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (FCEFyN) perteneciente a la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

Este laboratorio cuenta con el equipamiento necesario para la realización de la investigación en cuestión, entre los cuales se pueden citar: tamices, balanza electrónica, aparato "Casagrande", moldes cilíndricos de acero, aparato mecánico de compactación,

máquina de desgaste “Los Ángeles”, prensa de ensayo penetración CBR de accionamiento mecánico-manual, entre otros.

4. MARCO JURÍDICO EN RELACIÓN A LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION

4.1 INTRODUCCIÓN

Se ha realizado un análisis crítico tanto de la legislación nacional, como de la correspondiente a la Provincia de Córdoba y a la Municipalidad de la ciudad de Córdoba, destacándose la importancia que tales normativas le asignan a la valorización de los residuos, a su reinserción en el ciclo de la vida útil, minimizando su generación y disposición final, así como a la utilización racional de los recursos naturales.

Tanto en la legislación nacional como en la provincial, se observó la ausencia de normas específicas que traten de manera concreta y expresa sobre la clasificación, gestión y vertido de los RCD. La municipal, en cambio, legisla con mayor claridad al respecto sin entrar en contravención con aquella.

4.2 LEGISLACION NACIONAL

4.2.1 Constitución de la Nación Argentina

La Constitución Nacional (República Argentina, 1994), al hacer mención a los nuevos derechos y garantías, incorpora en el Artículo 41º los preceptos fundamentales del derecho ambiental, garantizando a todos los habitantes el derecho a un ambiente sano y equilibrado, en tanto establece que las autoridades proveerán “(...) a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.”

Dicho artículo consagra con rango constitucional el principio de desarrollo sustentable. Su fuerza radica en que se proyecta sobre toda la Nación e ilumina las leyes de presupuestos mínimos, las especiales y provinciales que se dictaron a posteriori, o se habrán de dictar en la temática ambiental.

4.2.2 Ley Nº 25.675 - Política Ambiental Nacional

La Ley Nº 25.675 (República Argentina, 2002a), conocida como “Ley General del Ambiente”, fue sancionada en noviembre de 2002 y promulgada parcialmente el mismo

año. Esta norma establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Debido a su carácter de orden público es de aplicación obligatoria en todo el territorio de la Nación (Art.3º), siendo deber de las Provincias y Municipios velar y accionar en procura de su efectiva implementación dentro de sus respectivas jurisdicciones.

El Artículo 2º determina cuáles son los objetivos de la política nacional ambiental, promueve el uso racional y sustentable de los recursos naturales, así como los cambios en los valores y conductas de la sociedad que hagan posible la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo. En esa línea pone énfasis en la educación ambiental, aspecto clave para poder entender, aceptar y promover la valorización de residuos.

Del Artículo 4º se destacan los siguientes principios de la política ambiental que guardan relación con dicha valorización:

- Principio precautorio: establece que ante el peligro de daño grave e irreversible, la ausencia de información o certeza científica no es razón para postergar la adopción de medidas eficaces que impidan o detengan la degradación;
- Principio de equidad intergeneracional: obliga a las autoridades responsables de la protección ambiental a "(...) velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras";
- Principio de responsabilidad: responsabiliza al generador de efectos degradantes del ambiente, haciéndole cargo de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición;
- Principio de sustentabilidad: destaca que, tanto el desarrollo económico y social como el aprovechamiento de los recursos naturales, "deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras."

Queda claro, a partir de lo expuesto, que la preservación y uso racional de los recursos naturales merecen especial atención. Ello debe ser apoyado con políticas educativas adecuadas que instruyan a la sociedad sobre su importancia, así como la de su valorización, a partir de la explotación y el uso sustentable. En tal sentido, conforme al principio de equidad intergeneracional, la ley hace particularmente responsables de ello a las autoridades pertinentes.

4.2.3 Ley Nº 25.612 - Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicio

La Ley Nº 25.612 (República Argentina, 2002b), sancionada y promulgada parcialmente en el mes de julio del año 2002, y aún no reglamentada, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio. Al inicio, la norma define:

“Art.2º. Se entiende por residuo industrial a cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo.”

De acuerdo a ello, los desechos o determinado tipo de residuos generados en la industria de la construcción, o en sus actividades complementarias de servicio, quedarían alcanzados por la ley, deberían ser considerados residuos industriales y gestionados como tales. La elaboración de hormigones en planta, por ejemplo, y el transporte de estos o sus residuos, quedarían incluidos.

Si bien la norma no menciona expresamente a los RCD, Mercante et al. (2009) citan un borrador de su decreto reglamentario que los incluye, titulado “Residuos de la construcción y demolición, incluyendo carreteras: hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, maderas, vidrios, plástico, metales, hierro, acero, cables”.

Sin embargo se está ante una ley muy cuestionada por distintos especialistas en la materia dado que, a partir de lo que establece en el Artículo 3º, convierte en “peligroso” a todo residuo proveniente de procesos industriales o actividad de servicio complementaria:

“Art. 3º - Se entiende por gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio al conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que comprenden las etapas de generación, manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento o disposición final de los mismos, y que reducen o eliminan los niveles de riesgo en cuanto a su peligrosidad, toxicidad o nocividad, según lo establezca la reglamentación, para garantizar la preservación ambiental y la calidad de vida de la población.”

Conforme al mismo, al hacer mención a la “reducción” o “eliminación” presupone peligrosidad. Esta ley ha sido tildada de defectuosa, ambigua y de “un ejemplo acabado de lo que NO deber ser una ley ambiental” (Bec y Franco, 2002). Según ella, un residuo industrial generado en una actividad industrial, o de servicio complementaria a ésta, que bajo el marco normativo de la Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos (República Argentina, 1992) era considerado “no peligroso”, debe recibir un tratamiento similar al que da esta última norma a los “residuos peligrosos” (Marcos, 2002).

Sin embargo, y al margen de su inseguridad jurídica, redundancia y falta de autosuficiencia, es de aplicación efectiva al haber sido sancionada, por lo que debe tenerse por referente o complementaria en la gestión integral de los residuos de construcción derivados de procesos industriales o actividades de servicios, desde su generación hasta el tratamiento o disposición final, pasando por los estadios intermedios de manejo, almacenamiento y transporte.

4.2.4 Ley Nº 25.916 - Gestión Integral de Residuos Domiciliarios

La Ley Nº 25.916 (República Argentina, 2004), sancionada en agosto de 2004 y promulgada parcialmente en setiembre del mismo año, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios. Por su carácter de ley de presupuestos mínimos, también obliga a las Provincias.

El Artículo 1º, precisa el origen que pueden tener los residuos para ser considerados domiciliarios, incluyendo en ello a los de "(...) origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas". En tanto, los define en el Artículo 2º al denominar "(...) residuo domiciliario a aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados."

En tal sentido, el documento titulado Estrategia nacional para la gestión integral de residuos sólidos urbanos, ENGIRSU (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [SAyDS], 2005, p.112), aclara:

"La norma utiliza el término residuo domiciliario en consonancia con la amplia gama de residuos integrados en el concepto residuos sólidos urbanos, ya que comprende residuos de origen no sólo residencial, que es lo que prima facie se puede interpretar por "domiciliario", sino también a los provenientes del aseo urbano y los de demás orígenes asimilables a aquellos (o sea, los que pueden ser gestionados en forma conjunta)."

A partir de lo expresado, la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es alcanzada por esta ley. Si bien aún no existe una normativa nacional que aborde el tratamiento de los RCD de modo específico, los desechos de esta naturaleza originados en el ámbito urbano, o buena parte de los mismos, en la medida de que puedan ser gestionados como domiciliarios, quedan implícitamente comprendidos.

Por la razón señalada, y sustentados en sus propias legislaciones provinciales, algunos municipios dictaron ordenanzas que los incluyen dentro de la gestión de RSU, dándoles por lo tanto el carácter de domiciliarios o asimilables a estos.

Asimismo, en el Artículo 3º, inciso f), la ley define los conceptos de "tratamiento", "acondicionamiento" y "valorización" dentro de la gestión integral:

"Tratamiento: comprende el conjunto de operaciones tendientes al acondicionamiento y valorización de los residuos.

Se entiende por acondicionamiento a las operaciones realizadas a fin de adecuar los residuos para su valorización o disposición final.

Se entiende por valorización a todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, mediante el reciclaje en sus formas física, química, mecánica o biológica, y la reutilización.”

Al establecer sus objetivos en el Artículo 4º, promueve tanto la valorización como la búsqueda de minimización de los residuos, a partir del manejo adecuado y racional cristalizado en una gestión integral protectora del ambiente y la calidad de vida.

En consecuencia, para la implementación efectiva y eficiente de esta ley, un instrumento necesario debe ser aplicar la recolección diferenciada de los residuos para facilitar su tratamiento y valorización posterior.

4.3 LEGISLACION PROVINCIAL

4.3.1 Ley N° 7.343 – Principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente

La Ley Provincial N° 7.343, sancionada en el año 1985, tiene por objeto, descrito en el Artículo 1º, la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente. Enuncia lo que considera de interés provincial y cuáles son los bienes jurídicos protegidos. Por ser las empresas susceptibles o capaces de degradar el medio ambiente, deben tomar todos los recaudos necesarios a los fines de evitar la degradación del medio ambiente. A tales efectos, toda norma y criterio relacionado con la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente debe tomar como nivel de referencia el Registro de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos o Ripoot del Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente (PNUMA) y el contenido de la C.I.T.E.S., más sus apéndices.

Se debe actuar en concordancia con el Catastro de Actividades Riesgosas y Contaminantes, no debiendo por lo tanto arrojar, abandonar, conservar o transportar desechos cuando los mismos puedan degradar el medio ambiente en dichos parámetros.

De conformidad con lo dispuesto por el Art. 59, modificado por ley 8789, actúa como Autoridad de Aplicación de esta ley y sus decretos reglamentarios la AGENCIA CORDOBA AMBIENTE SOCIEDAD DEL ESTADO.

4.3.2 Ley N° 13.428 – Política Ambiental Provincial

La Ley Provincial N° 13.428, sancionada en el año 2014, se presenta como un avance en el cuidado del medioambiente y favorable para salud de la provincia, y como complementaria a los presupuestos mínimos establecidos en la Ley Nacional General del

Ambiente N° 25.675, sin embargo el texto aprobado genera, para muchas personas y organizaciones, más que un avance serias dudas de su real interés y aplicación. La misma contiene numerosos puntos polémicos y confusos que son los que generan preocupación.

En primera instancia y, como instancia más crítica debemos señalar que el proceso de aprobación de la norma ha generado un cuestionamiento general desde su génesis. En cuanto a los contenidos: la ley sólo contempla premios e incentivos para aquellas actividades o proyectos que “reduzcan la contaminación”, y pocas sanciones y medidas de prevención, mitigación o reparación cuando el impacto sea negativo; se propone un ordenamiento ambiental del territorio que asegure el uso adecuado de los recursos ambientales, posibilite la producción armónica y la utilización de los diferentes ecosistemas, garantizando la mínima degradación. En este punto se hace referencia a los criterios de la ley de bosques como guía, lo cual genera nuevamente una polémica ya que, la norma nacional (Ley N ° 26.331) no ha sido respetada en su espíritu y ha sido judicializada por demandas de sectores académicos y ONG.

En cuanto a la participación ciudadana, el punto que quizá despertaba mayor interés, se proponen algunas formas y mecanismos de participación pero queda reducida y “librada” al criterio y decisión de la autoridad de aplicación. Las Audiencias Públicas serán obligatorias en los casos en los que los proyectos o actividades estén sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental.

La ley contempla dos Anexos: el Anexo I contiene los proyectos sujetos obligatoriamente a la presentación de estudio de impacto ambiental y audiencia pública; el Anexo II especifica los proyectos que deben dar notificación de los mismos y quedan condicionalmente sujetos a presentación de estudio de impacto ambiental. El problema de ello es que enumera importantes actividades que como bien lo indica el título condicionalmente estarían sujetas a este tipo de control y regulación. De hecho, y un dato no menor que ejemplifica la controversia, es que una de las actividades incluidas en este apartado está relacionado a los proyectos de producción agropecuaria, caza y pesca, en donde categorizan las plantas de acopio de cereales, entendiendo como tales las que realicen almacenamiento, clasificación, limpieza y/o secado de granos, no incluidas en el Anexo I. Este es el punto más controvertido de la ley, ya que dentro de esta categoría entraría el emprendimiento que Monsanto pretende instalar en Malvinas Argentinas, Córdoba, resistido por la población local. Este punto llevó a que la ley sea llamada “Ley Monsanto”.

Por tanto, y en lo que respecta al proceso político por medio del cual se da la aprobación de dicha ley, hay que decir que el proyecto no se conoció de manera previa a su definitiva aprobación. Según aseguran desde el oficialismo, el texto que se aprobó fue fruto de aportes de múltiples instituciones, organizaciones sociales y académicos que desde el mes de marzo la Legislatura había invitado a participar de las reuniones de comisión con la finalidad de tener en cuenta su opinión respecto al proyecto de política ambiental provincial. Sin embargo, lo cierto es que numerosas organizaciones interesadas no conocían el contenido de la normativa y tampoco pudieron participar de esas discusiones.

Esta nueva ley no representa un avance significativo en términos de garantizar la protección del ambiente y la salud de los cordobeses.

Por otro lado, a lo acontecido con el tratamiento parlamentario de esta norma debemos sumar como antecedente que, en la Legislatura provincial existe un proyecto de ley para declarar a la provincia como zona “no nuclear” y cerrar la central atómica de Embalse, que ha sido archivado por las autoridades. Los legisladores se niegan a reconocer como válidas las firmas de 30 mil cordobeses presentadas por organizaciones de la sociedad civil de acuerdo a lo establecido con la ley de Iniciativa Ciudadana vigente en la provincia.

4.3.3 Ley Nº 9.088 - Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Asimilables a los RSU

La Ley Provincial Nº 9.088, que fue sancionada en el año 2003, es la que regula la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU). Se trabaja por regiones, tienen un vertedero regional en Villa Dolores, una estación de transferencia en Mina Clavero que atiende el valle de Traslasierra, y también se cuenta con una planta con sistema de enfardado, donde se tratará residuos orgánicos, y el resto se enfarda en el Valle Calamuchita.

Por otro lado, existen plantas en el sur de Córdoba, en Marcos Juárez, en Los Urgentes, y en Río Cuarto. El objetivo es el cierre de los 700 basurales a cielo abierto.

Artículo 1º- Es de aplicación a la generación, transporte, tratamiento, eliminación y disposición transitoria o final de residuos sólidos domiciliarios, derivados de la poda, escombros, desperdicios de origen animal, enseres domésticos y vehículos en desuso y todo otro residuo de características similares producidos en las actividades urbanas, con excepción de aquellos que por sus características deban ser sometidos a tratamientos especiales antes de su eliminación, tales como los patógenos, radiactivos, peligrosos u otros”.

Artículo 2º - Los objetivos de la presente Ley: **a)** Prevenir la producción innecesaria de residuos atendiendo a la reducción en origen, reutilización, reciclado u otras formas de recuperar su posible valor residual en la gestión de los mismos; **b)** Inducir la elaboración de subproductos derivados de los residuos; **c)** Propiciar la educación, información y divulgación ciudadana sobre la necesidad de participación de la comunidad en su conjunto, para la higiene urbana y el cuidado del ambiente; **d)** Alentar la formación de sistemas cooperativos o asociativos con la finalidad de intervenir en el proceso de recolección, clasificación, reutilización, transporte y destino transitorio o final de los residuos”.

Artículo 3º - La Agencia Córdoba Deportes, Ambiente, Cultura y Turismo S.E.M., o el organismo que pudiera reemplazarla en el futuro en sus competencias referidas a la política ambiental de la Provincia, actuará como Autoridad de Aplicación de la presente Ley.

Artículo 4º - Serán atribuciones de la Autoridad de Aplicación las siguientes: **a)** Instrumentar programas y acciones de gestión integral de los residuos locales y regionales en coordinación con otras jurisdicciones del Estado Provincial; **b)** Promover políticas fiscales y económicas activas para la implementación de sistemas integrales de gestión de residuos; **c)** Favorecer la integración intermunicipal y la creación de entes interjurisdiccionales orientados a la gestión de los residuos; **d)** Coordinar con los municipios y comunas las acciones que correspondan y la asistencia provincial en materia de gestión de residuos; **e)** Autorizar, habilitar y controlar, en los términos que fije la reglamentación correspondiente y la Ley Provincial del Ambiente N° 7343, sus modificatorias y decretos reglamentarios, las actividades alcanzadas por la presente Ley.

Artículo 5º - A los fines de la presente Ley, se entiende por vertedero controlado, al lugar físico de disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Asimilables a los RSU.

Artículo 6º - Establece las siguientes condiciones mínimas, de cumplimiento obligatorio en todos los casos, para el tratamiento y disposición de los Residuos Sólidos Urbanos o Residuos Asimilables a los RSU, a través de vertederos controlados: **a)** Establecer condiciones de seguridad física y administrativas adecuadas; **b)** Respetar las condiciones de tratamiento de los líquidos y gases resultantes de la disposición de residuos; **c)** Establecer un sistema periódico de monitoreo; **d)** Cumplimentar los requerimientos que surgen de la Ley Provincial del Ambiente N° 7343, sus modificatorias y decretos reglamentarios; **e)** Cumplimentar los contenidos de los Términos de Referencia definidos y establecidos por la Autoridad de Aplicación para la gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

Artículo 7º - Prohíbese en todo el territorio provincial: **a)** El abandono, vertido o eliminación incontrolada de residuos, mezclas o diluciones de residuos que imposibiliten su gestión tecnológicamente segura; **b)** La disposición de efluentes cloacales, de residuos que deban ser sometidos a tratamientos especiales, la quema de residuos, la alimentación de animales y la selección incontrolada de residuos (cirujeo) en lugares donde funcionen vertederos controlados.

Artículo 8º - A los fines de cumplimentar los objetivos establecidos en la presente Ley, invitase a las municipalidades y comunas a integrar entes regionales para el establecimiento de sistemas de gestión de residuos, para lo cual contarán con la asistencia técnica del Gobierno Provincial a través de la Autoridad de Aplicación.

Artículo 9º - Créase la cuenta especial "Fondo de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de Córdoba", destinada a la educación ciudadana sobre higiene urbana, participación comunitaria en la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Asimilables a los RSU, e investigación sobre la aplicación de medidas destinadas a la prevención de la producción, el tratamiento de residuos y la protección ambiental.

Artículo 10 - El "Fondo de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de Córdoba" se integrará con: **a)** Los montos anuales que le asigne el Presupuesto General de la Provincia; **b)** Los aportes que realicen los municipios y comunas conforme a los convenios que se celebren para gestión de Residuos Sólidos Urbanos, bajo los alcances

de la presente Ley; **c)** Los aportes provenientes de la celebración de convenios con organismos nacionales e internacionales destinados al estudio e investigación para el desarrollo de la gestión de Residuos Sólidos Urbanos.

4.4 LEGISLACION MUNICIPAL

4.4.1 Ordenanza Municipal N° 9.612 y Decreto Reglamentario 144 E/99

- Determina Autoridad de Aplicación para la gestión de todas las fracciones de residuos sólidos.
- Categoría de residuos (RCD) – No convencionales/Cosa Riesgosa.
- Caracteriza actores: Generador/Operador/Transportista.
- Define: Tratamiento y disposición final.
- Establece obligaciones y derechos para cada actor.
- Genera Registros de generadores, operadores y transportistas (DJ).
- Establece un marco de actuación para cada actor.
- Establece que la Autoridad de aplicación determinará los sitios autorizados para disposición final.
- Anexos IV y V: Modalidad de prestación para la gestión de RCD y ubicación de contenedores en la vía pública.

4.4.2 Ordenanza Municipal N° 12.468 - Código de Convivencia Ciudadana

- Regula la circulación, áreas autorizadas, condiciones y restricciones de los carros con tracción animal – Establece penalidades.
- Establece penalidades a quien opere los residuos no convencionales en incumplimiento a la normativa vigente fijando penalidades.
- Establece penalidades a quien arroje residuos a la vía pública.

4.4.3 Ordenanza Municipal N° 12.482 - Ordenanza Tarifaria Anual (OTA)

- Establece una Tasa por la generación de RCD por demolición (+ 80m²).
- Establece una Tasa para la generación de RCD por construcción (+ 80m²).
- Establece una Tasa para las unidades de traslado de las empresas transportistas de RCD.

4.4.4 Ord. Municipales N° 8116/N°10.214-Higiene Obligatoria de Inmuebles y construcciones / Decretos Reglamentarios N° 822-G-86 y N° 047/15

- Autoridad de aplicación.
- Higiene obligatoria de terrenos baldíos y obras en construcción.
- Cerramiento obligatorio.
- Despeje de la circulación peatonal.
- Materialización de veredas.
- Desmalezado, desratizado y desinfección.
- Prohibición de disposición irregular de residuos.

4.5 CONCLUSIONES

Del análisis de la normativa legal vigente en Argentina, se observó que tanto en la legislación nacional, como en la de la provincia de Córdoba y en la de la municipalidad de la ciudad de Córdoba, se promueve el aprovechamiento de los residuos en un marco que incluye minimizar su generación, la educación ambiental y el consumo responsable.

En relación a la legislación nacional se observó que no se ha dictado aún una normativa específica que legisle de manera concreta y expresa sobre la clasificación, gestión y vertido de los RCD.

Solamente un borrador reglamentario de la Ley Nacional N° 25.612/2002, sobre gestión integral de residuos industriales y actividades de servicio, cuestionada y tildada por especialistas por sus defectos y ambigüedades, hace mención de ellos. La ley aún sigue sin reglamentar.

Por su parte, la Ley Nacional N° 25.916/2004 incluye implícitamente a los RCD dentro de los RSU, al quedar comprendidos dentro de los desechos que son consecuencia del desarrollo de actividades humanas en el ámbito de las urbes. Así también surgiría del citado documento "ENGIRSU" (SAyDS, 2005). Sin embargo, puesto que los RCD pueden ser generados tanto en órbitas urbanas o fuera de ellas, como consecuencia de procesos que pueden, o no, tener un origen de actividad industrial o complementaria a ésta, se

advierten vacíos y sombras que provocan dudas acerca de cómo gestionarlos íntegramente, desde su origen hasta su tratamiento o disposición final. Es necesario en Argentina, por lo tanto, legislar claramente al respecto.

Dentro de la normativa provincial, la Ley N° 7.343 de principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente ha efectuado un aporte trascendente al consagrar los principios ambientales, teniendo en cuenta que aún no estaba vigente la Ley Nacional N° 25.675/2002. Luego la Ley N° 13.428 de Política Ambiental Provincial sancionada en el año 2014, se presenta como un avance en el cuidado del medioambiente y favorable para salud de la provincia, y como complementaria a los presupuestos mínimos establecidos en la Ley Nacional General del Ambiente N° 25.675.

En cuanto al orden municipal, se avanzó en la elaboración de ordenanzas complementarias a las leyes provinciales y nacionales.

5. MATERIALES Y ENSAYOS DE LABORATORIO

5.1 MATERIALES

Se estudiaron cuatro tipos de materiales, de los cuales dos eran comerciales y los dos restantes eran reciclados de RCD. Dentro de los materiales comerciales, se proveyeron suelos arena de tres canteras distintas y áridos triturados de otra cantera. En cuanto a los materiales reciclados de RCD, en un principio la cantera proveyó un árido reciclado de RCD mixto en forma heterogénea (sin fraccionar), luego se creyó conveniente que lo proveyeran dividido en tres fracciones (RCD grueso, intermedio y fino) y en este caso se recibió un árido reciclado de RCD de hormigón.

Para el estudio de los materiales comerciales, se tomó de cada suelo arena una muestra de 75 kg de los acopios correspondientes a cada una de las tres canteras; mientras que para el árido triturado 0-20 y 0-6 se tomó una muestra de 80 kg para cada uno. Para el árido reciclado mixto de hormigón, se tomó una muestra de alrededor de 100 kg de los acopios de la cantera La Escombrera. En cuanto al árido reciclado de hormigón fraccionado, se tomó una muestra de alrededor de 85 kg por cada fracción de los acopios de la cantera La Escombrera.

La Escombrera cuenta con una zona de acopio para los distintos tipos de áridos reciclados de RCD, ya sean mixtos o solamente de hormigón. A estos, se los somete a un pre-cribado para eliminar tierras y partículas de yeso que habitualmente van en la fracción fina del mismo. Luego se procede a la trituración del material con una posterior separación de impurezas (vidrio, madera, metales, etc.) y cribado de acuerdo a las fracciones deseadas, obteniendo tres tipos de materiales.

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

Figura N° 5. Muestra árido reciclado mixto de hormigón



- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

- **Eco-grancilla**

Figura N° 6. Muestra árido reciclado de hormigón (grueso)



- **Eco-arena gruesa**

Figura N° 7. Muestra árido reciclado de hormigón (intermedio)



➤ **Eco-arena fina**

Figura N° 8. Muestra árido reciclado de hormigón (fino)



5.2 COMPOSICIÓN DE LOS ÁRIDOS DE RCD

Los RCD están compuestos por diferentes materiales como asfalto, cerámica, hormigón y mortero, áridos naturales, yeso e impurezas (madera, vidrio, plástico, metal).

Según la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, los áridos reciclados se pueden clasificar en base a su composición en cuatro categorías:

- Categoría ARH (Áridos Reciclados de Hormigón): el contenido de hormigón y piedra natural (sin mortero adherido) es del 90% o más en peso. Se suma el contenido de hormigón al de piedra natural, por considerar que tienen un comportamiento asimilable.
- Categoría ARMh (Áridos Reciclados Mixtos de Hormigón): el contenido de hormigón y piedra es menor al 90% y el de material cerámico no alcanza el 30%.
- Categoría ARMc (Áridos Reciclados Mixtos Cerámicos): el contenido de material cerámico supera el 30%.
- Categoría ARC (Áridos Reciclados Cerámicos): el contenido de material cerámico supera el 70%.

Esta clasificación debe completarse con la determinación del contenido de los otros dos tipos de fracciones en la mezcla, dado que su exceso determina la pérdida de la consideración de árido reciclado:

- Contenido de Asfalto (Áridos Reciclados con Asfalto): cuando el árido reciclado contiene entre un 5% y un 30% de materiales bituminosos, más del 30% se considera Mezcla Bituminosa.
- Contenido de “impropios”: se considera que con más de un 1% en peso de “impropios”, no puede definirse como árido reciclado, y debe definirse como “Material Inerte”.

Figura N° 9. Muestra árido reciclado de RCD mixto

Nomenclatura	Nombre	Características
ARH	Áridos Reciclados de Hormigón	P + H > 90% C < 10% A < 5% X < 1%
ARMh	Áridos Reciclados Mixtos de Hormigón	P + H > 70% C < 30% A < 5% X < 1%
ARC ARMc	Áridos Reciclados de Cerámicos Áridos Reciclados Mixtos de Cerámicos	P + H < 30% C < 30% A < 5% X < 1% C > 70% A < 5% X < 1%
ARC ARMc	Áridos Reciclados de Cerámicos Áridos reciclados Mixto Cerámico	P + H < 70% C < 70% A < 5% X < 1% C > 30% A < 5% X < 1%
ARMa	Áridos Reciclados mixto con asfalto	5% < A < 30% X < 1%

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

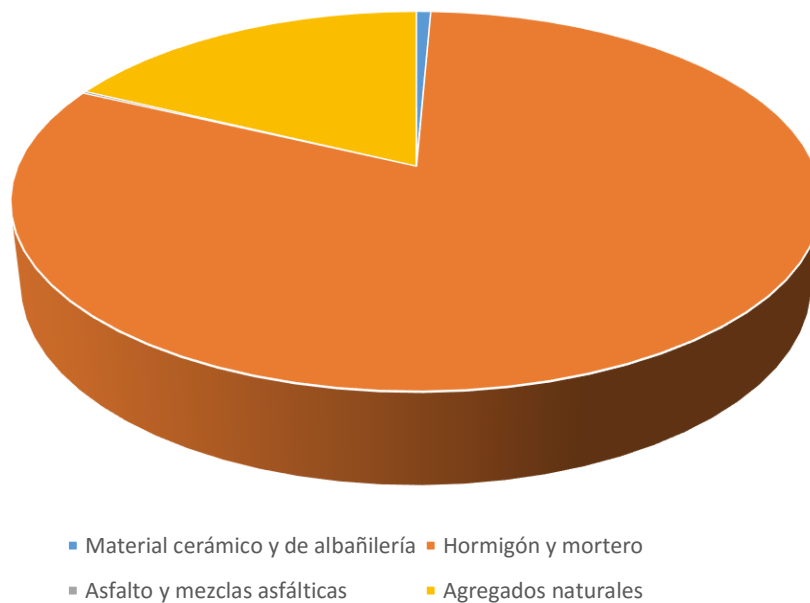
Todas las plantas realizan a los RCD una separación manual de grandes impurezas antes de la trituración, y los molinos de impacto están equipados con separadores magnéticos para retirar los elementos metálicos pequeños.

En la tabla 3 se listan los componentes del árido reciclado mixto de hormigón.

Tabla 3. Composición muestra árido reciclado mixto de hormigón

Componente	Peso (gr.)	Porcentaje (%)
Material cerámico y de albañilería	38	0,70
Hormigón y mortero	4542	81,40
Madera, vidrios y otras impurezas	1	0,00
Asfalto y mezclas asfálticas	10	0,20
Agregados naturales	990	17,70
	5581	100,00

Figura N° 10. Composición muestra árido reciclado mixto de hormigón



Según la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD se tiene un ARMh, (árido reciclado mixto de hormigón), el cual es considerado muy puro, ya que más del 99% de las partículas son de hormigón; más del 81% de áridos naturales con mortero de cemento adherido y más del 17% de árido natural sin mortero de cemento adherido. Los componentes restantes deben ser considerados como impurezas y son muy bajos, alrededor del 1%.

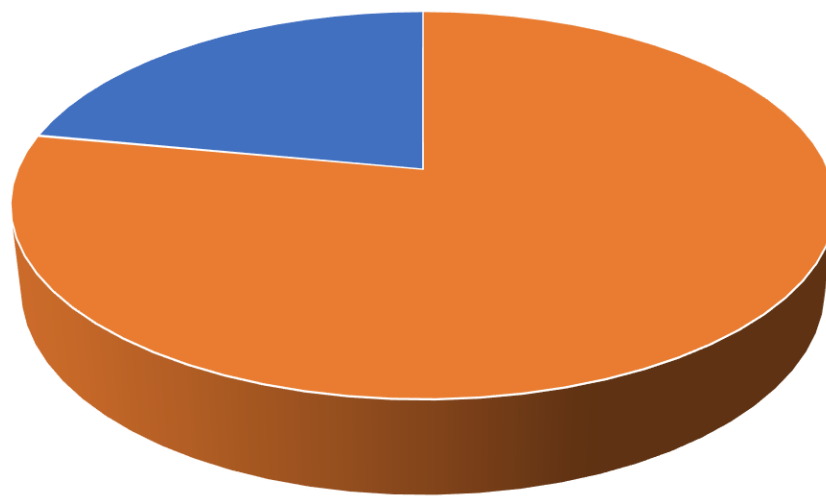
- **Árido reciclado de RCD de H° fraccionado**

En la tabla 4 se listan los componentes del árido reciclado mixto de hormigón.

Tabla 4. Composición muestra árido reciclado de hormigón fraccionado (Eco-grancilla)

Componente	Peso (gr.)	Porcentaje (%)
Material cerámico y de albañilería	0	0,00
Hormigón y mortero	3945	77,92
Madera, vidrios y otras impurezas	2	0,04
Asfalto y mezclas asfálticas	3	0,06
Agregados naturales	1113	21,98
	5063	100,00

Figura N° 11. Composición muestra árido reciclado de hormigón fraccionado (Eco-grancilla)



- Material cerámico y de albañilería
- Hormigón y mortero
- Madera, vidrios y otras impurezas
- Asfalto y mezclas asfálticas
- Agregados naturales

Según la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD se tiene un ARH, (árido reciclado de hormigón), éste es considerado muy puro, ya que casi el 100% de las partículas son de hormigón; más del 77% de áridos naturales con mortero de cemento adherido y más del 21% de árido natural sin mortero de cemento adherido. Los componentes restantes deben ser considerados como impurezas y son muy bajos, menores al 1%. La presencia de impurezas es normal en los áridos reciclados, aunque el bajo porcentaje de estos componentes es debido a que los residuos de hormigón se procesan por separado de los mixtos.

5.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos se realizaron siguiendo las recomendaciones del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, como así también en la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, que establecen los requisitos de los materiales componentes de las mezclas para la ejecución de capas estructurales, en este caso, para sub-bases granulares.

5.3.1 GRANULOMETRIA

Para determinar las granulometrías de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Análisis mecánico de materiales granulares (VN-E7-65)**”.

El objeto de la norma citada anteriormente busca establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

Existen dos tipos de granulometrías:

- Abierta: por lo general el material está compuesto por un solo tamaño.
- Cerrada: cuando el material tiene un tamaño máximo y mínimo.

Una vez obtenidos los resultados del análisis mecánico se los representa sobre una tabla semilogarítmica, por una curva llamada granulométrica, en dicha curva se representan los valores de porcentajes pasantes en ordenadas con una escala aritmética y abertura de tamiz en abscisas con una escala logarítmica.

Según la forma de la curva granulométrica, se van a tener distintos comportamientos. La permeabilidad del suelo, su trabajabilidad y resistencia estarán en función de la forma de la curva.

Las curvas granulométricas pueden ser:

- Máxima compacidad: es una curva bien graduada, es decir existen todos los tamaños de partículas.
- Abierta: se da cuando no existen todos los tamaños de agregado.
- Uniforme: se da cuando existe un solo tamaño de partícula.

Figura N° 12. Granulometría - Cuarteo



Figura N° 13. Granulometría - Zarandeo



Figura N° 14. Granulometría – Retenido T N° 200



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

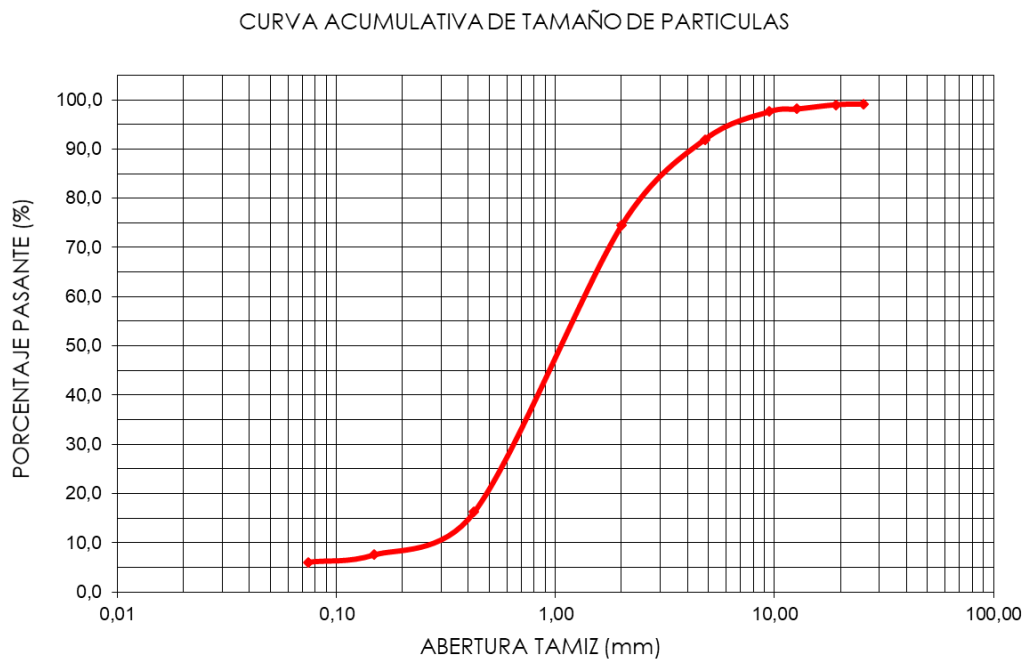
- **Materiales comerciales**

- **Suelo arena**

- ❖ **Cantera Beranek**

En la figura N° 15 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Figura N° 15. Curva granulométrica suelo arena Beranek

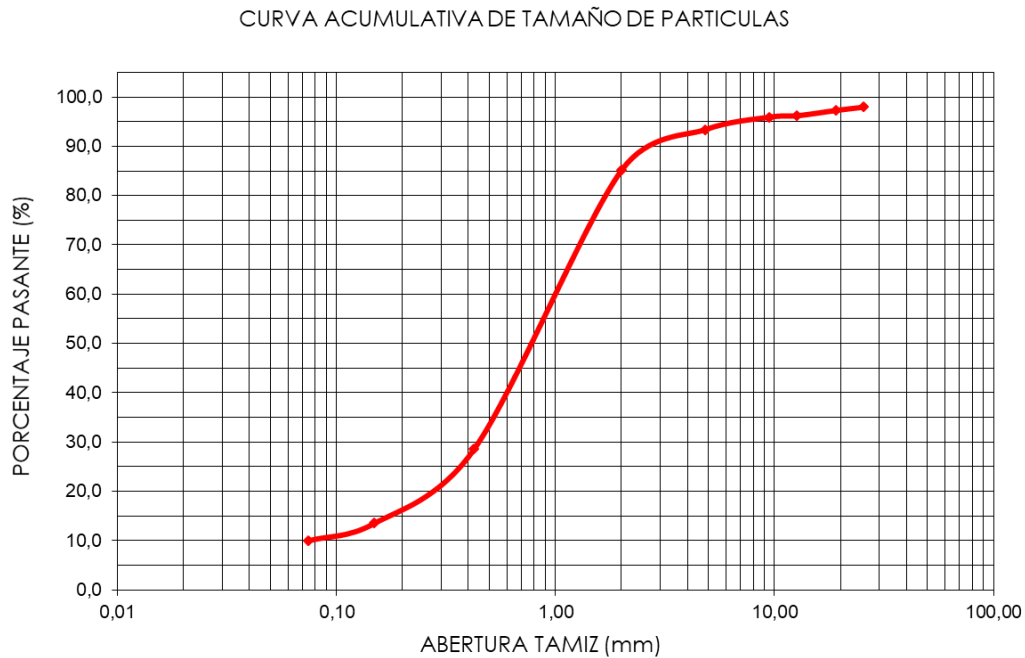


En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del suelo arena, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas intermedias a chicas.

❖ **Cantera Canello**

En la figura N° 16 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera.

Figura N° 16. Curva granulométrica suelo arena Canello

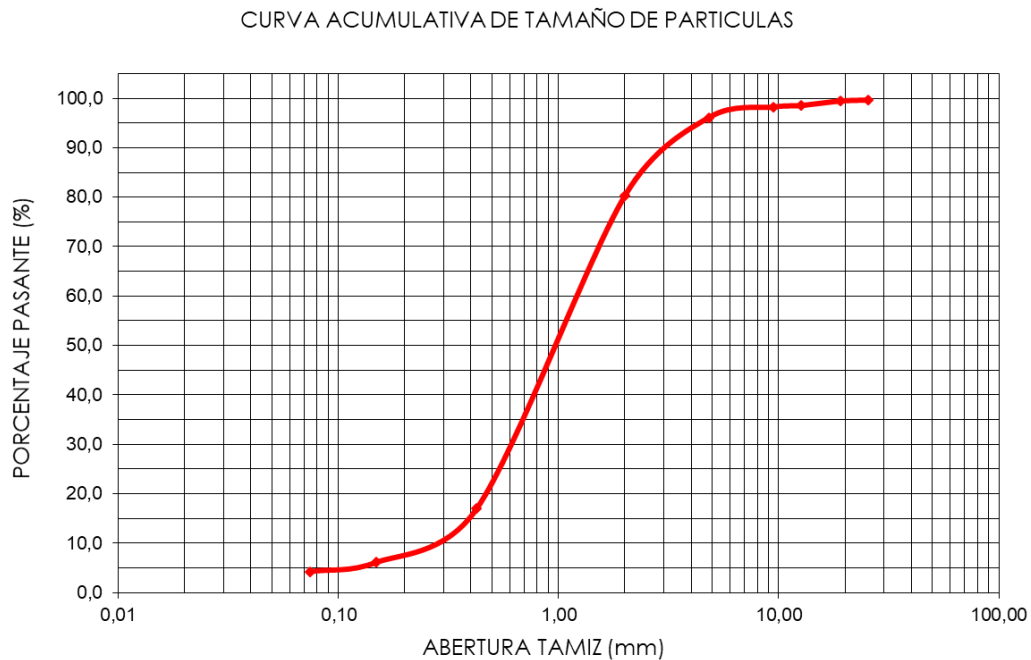


En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del suelo arena, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas intermedias a chicas.

❖ **Cantera San Ignacio**

En la figura N° 17 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera.

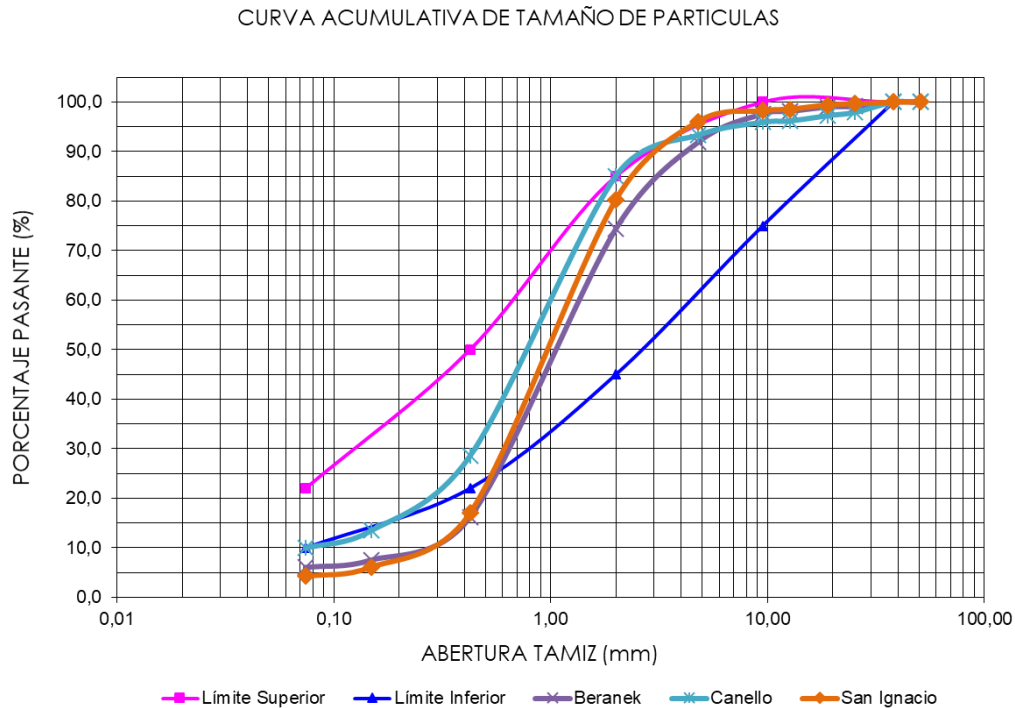
Figura N° 17. Curva granulométrica suelo arena San Ignacio



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del suelo arena, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas intermedias a chicas.

Lo que se muestra a continuación en la figura N° 18 son las granulometrías de los suelo arena anteriores dentro de los entornos granulométricos exigidos por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7.

Figura N° 18. Curvas granulométricas suelo arena y entornos



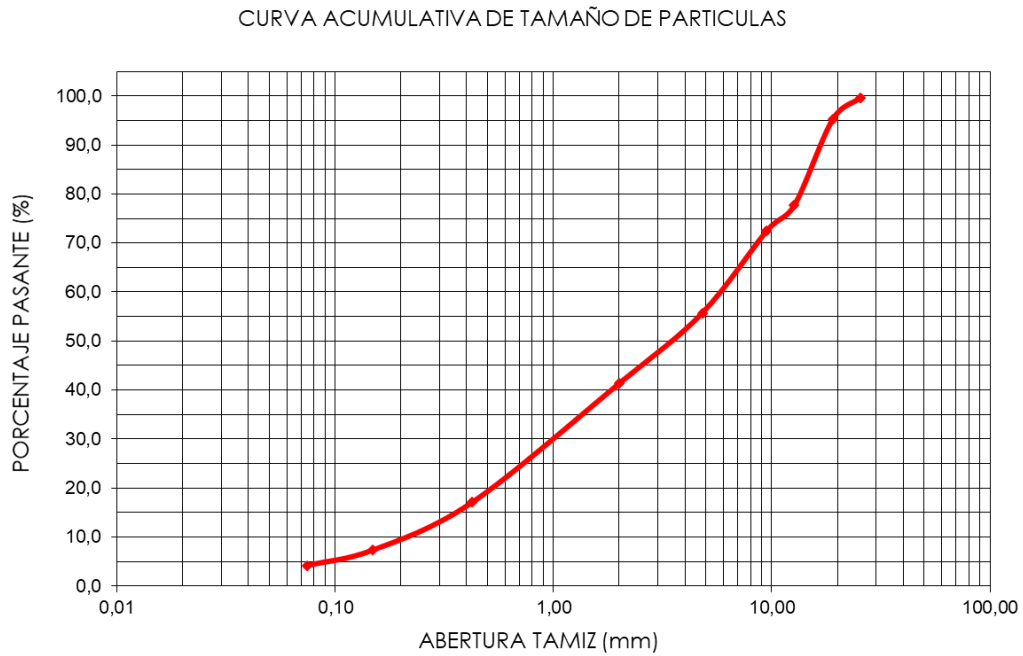
Como se puede observar, la curva granulométrica del suelo arena de la cantera Canello es la que está en su totalidad dentro de los límites, mientras que las curvas granulométricas de los suelo arena de las canteras Beranek y San Ignacio observamos que tienen un faltante de los materiales más chicos, es decir pasantes desde el tamiz N° 40 al N° 200.

➤ **Árido triturado**

❖ **0-20**

En la figura N° 19 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido triturado 0-20 provisto por la cantera Dumesnil.

Figura N° 19. Curva granulométrica árido triturado 0-20

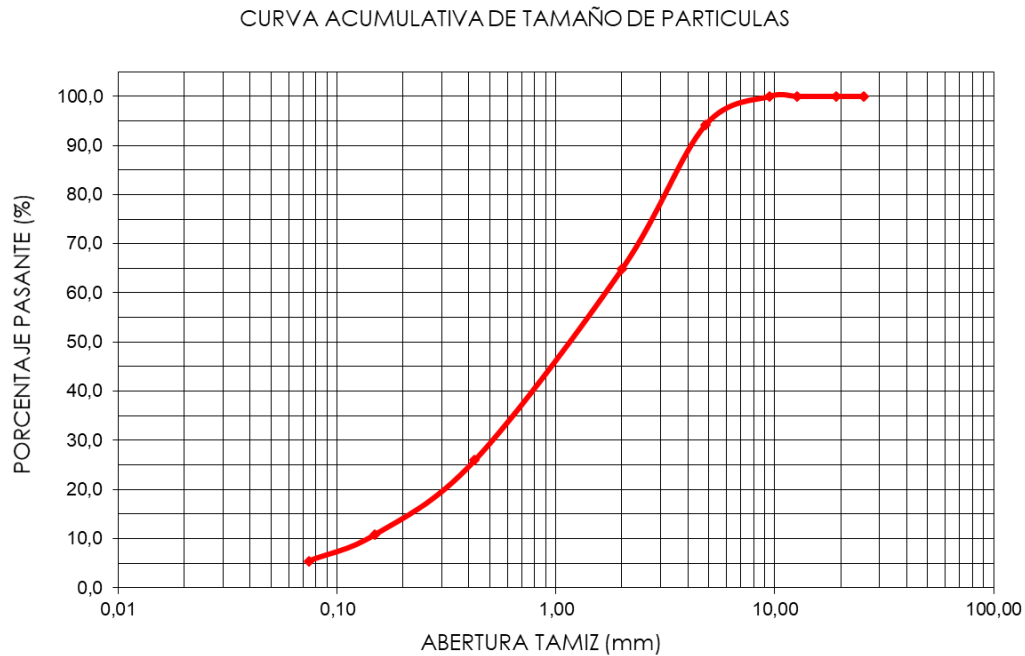


En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del árido triturado 0-20, presentó una curva granulométrica cerrada, es decir no uniforme ya que presenta todos los tamaños de partículas.

❖ 0-6

En la figura N° 20 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido triturado 0-6 provisto por la cantera Dumesnil.

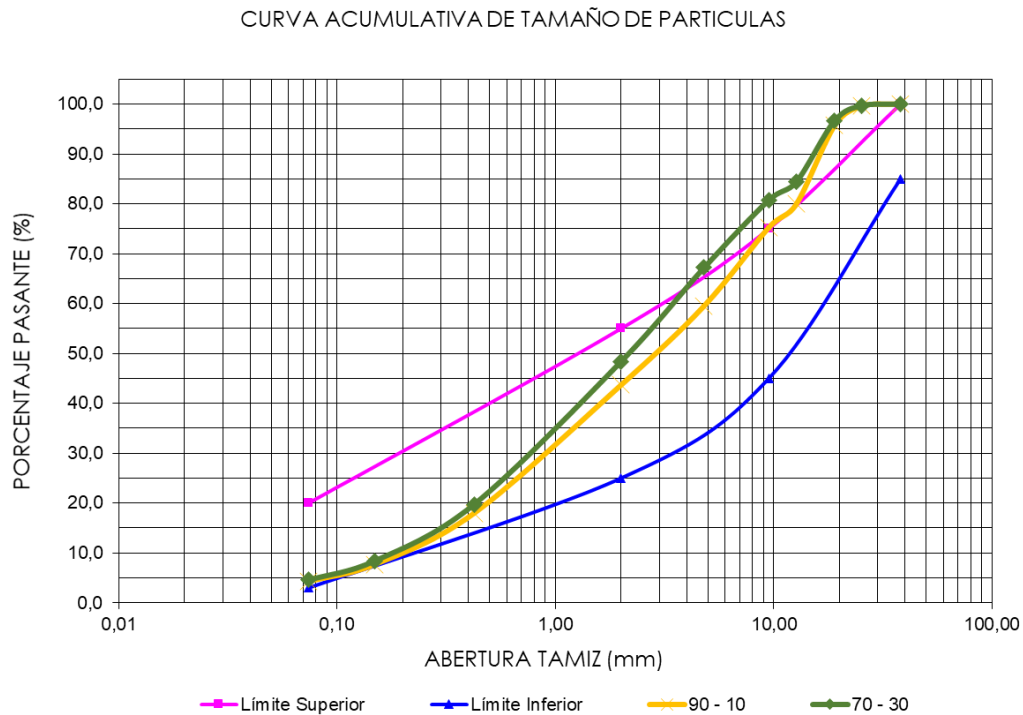
Figura N° 20. Curva granulométrica árido triturado 0-6



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del árido triturado 0-6, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas chicas.

Con los dos materiales antes mencionados, se propusieron dos mezclas que cumplieran con los entornos granulométricos exigidos por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 para ejecución de sub-bases granulares. A continuación se muestra en la figura N° 21 los resultados obtenidos para las distintas mezclas.

Figura N° 21. Curvas granulométricas mezclas de áridos triturados y entornos

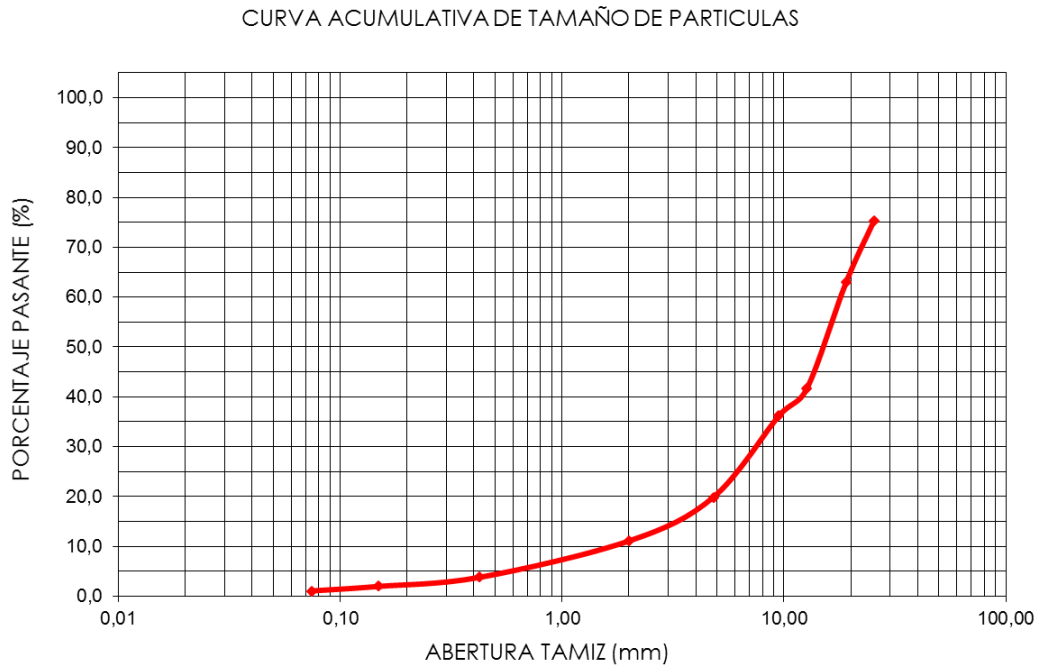


Se observa que, tanto la curva granulométrica de la mezcla 1 (90% 0-20 y 10% 0-6) como la de la mezcla 2 (70% 0-20 y 30% 0-6), caen fuera de los límites en la parte de las partículas grandes, es decir que tienen un exceso de los materiales retenidos desde el tamiz 3/8" hacia arriba.

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

En la figura N° 22 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera.

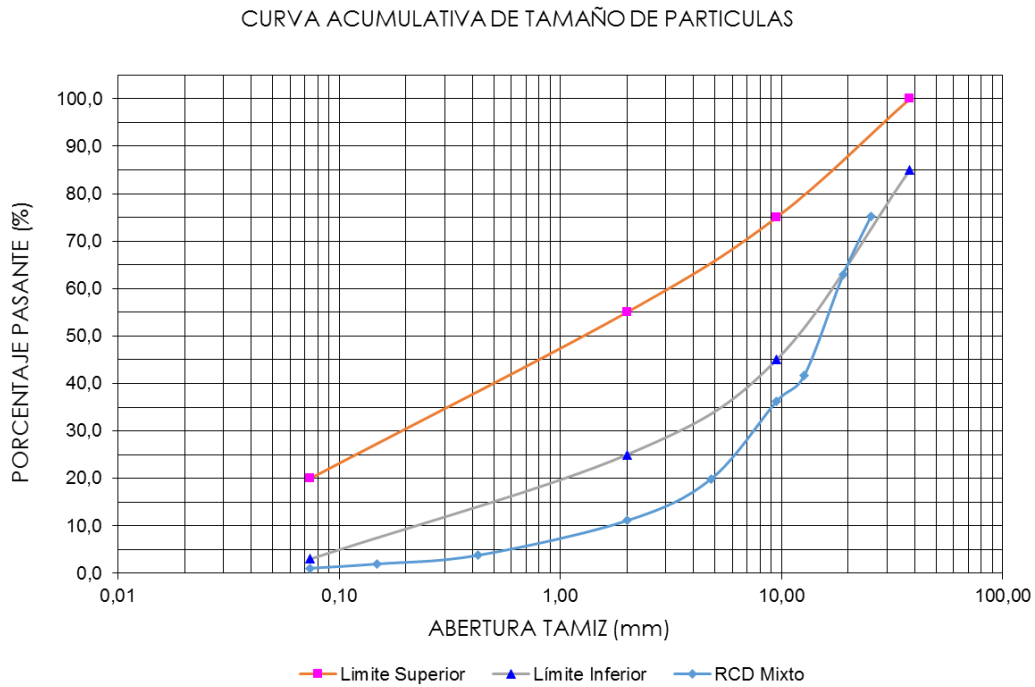
Figura N° 22. Curva granulométrica árido reciclado mixto de hormigón



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra del árido reciclado mixto de hormigón, presentó una curva granulométrica abierta con predominancia de tamaños de partículas grandes.

En la figura N° 23 se grafica las curva granulométrica de la muestra del árido reciclado mixto de hormigón ensayada junto con el entorno especificado por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 para ejecución de sub-bases granulares. Se manifiesta un faltante de todos los tamaños, en base a esto podemos concluir en que dicha muestra no es apta para ser considerada como una mezcla para una sub-base granular.

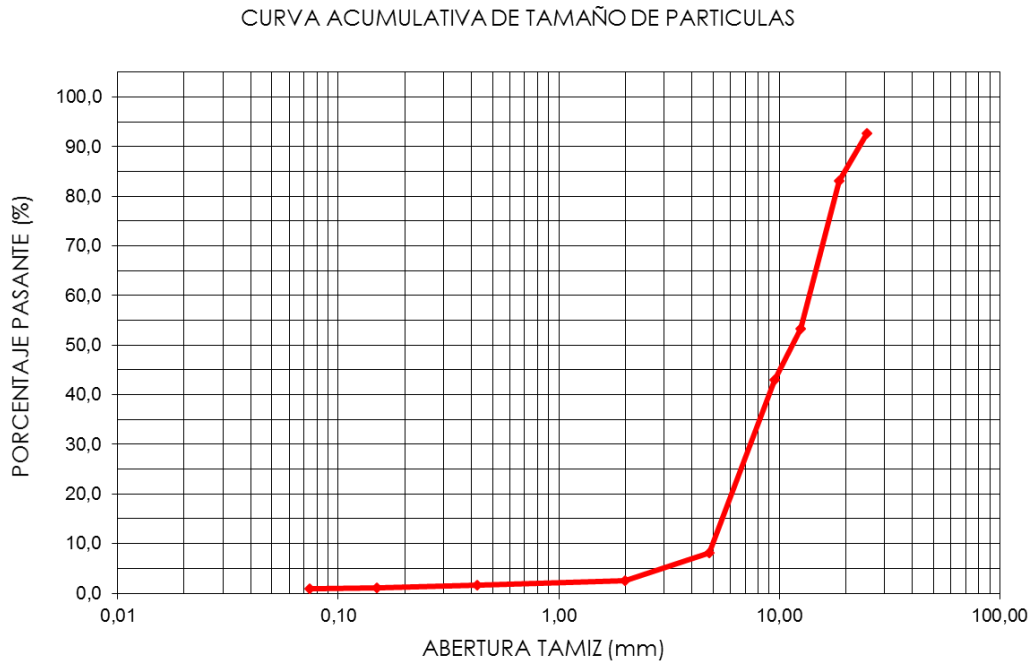
Figura N° 23. Curva granulométrica árido reciclado mixto de hormigón y entornos



- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

En la figura N° 24 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-grancilla (RCD grueso) provisto por la cantera.

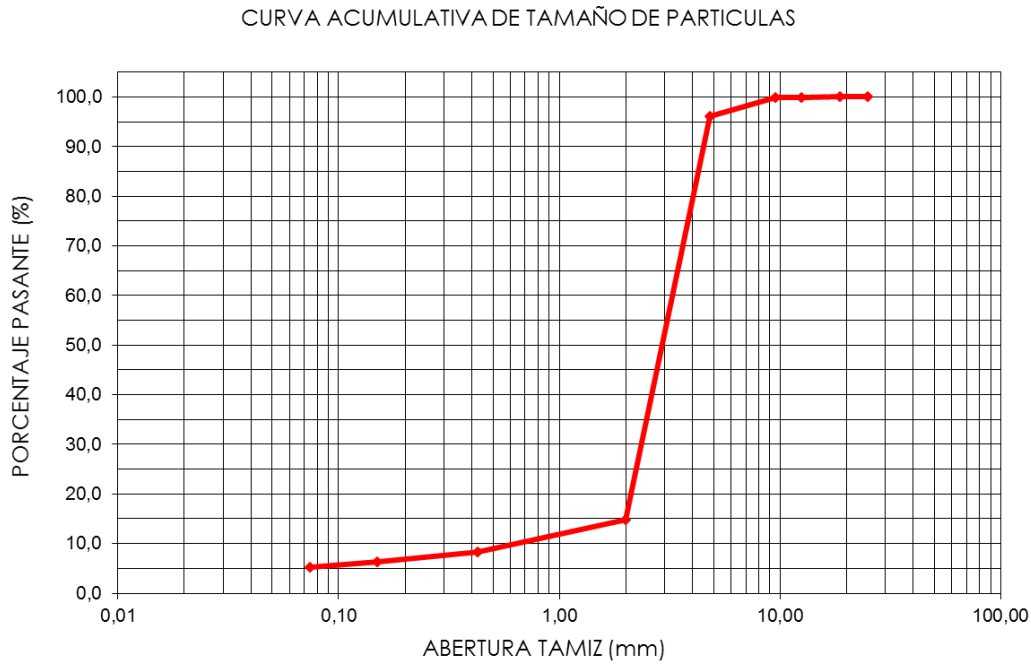
Figura N° 24. Curva granulométrica Eco-grancilla



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra de la Eco-grancilla, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas grandes.

En la figura N° 25 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-arena gruesa (RCD intermedio) provisto por la cantera.

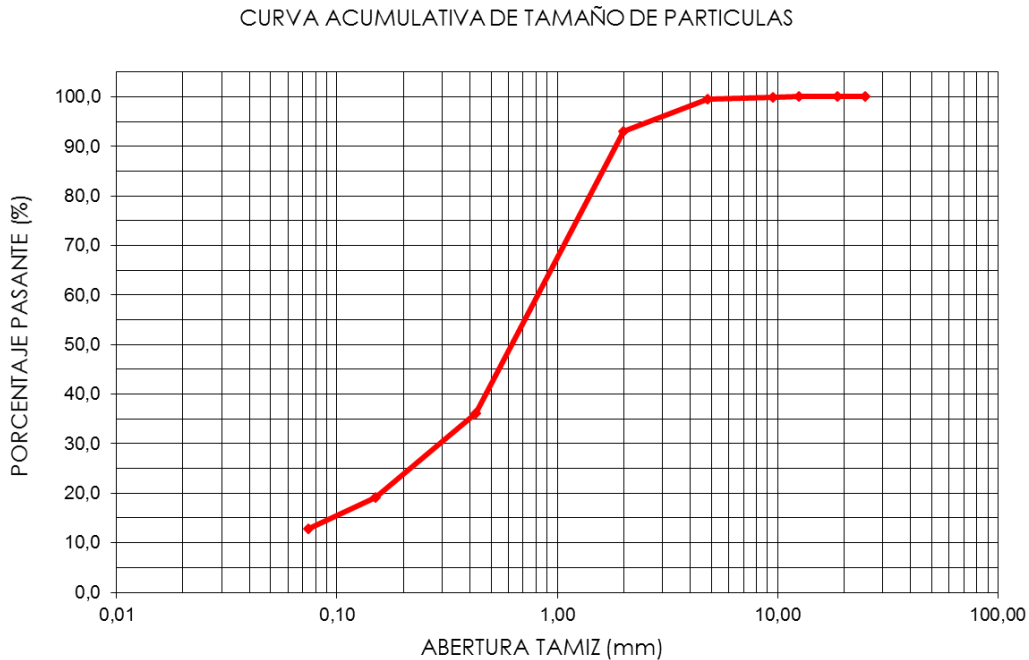
Figura N° 25. Curva granulométrica Eco-arena gruesa



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra de la Eco-arena gruesa, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas intermedias a chicas.

En la figura N° 26 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-arena fina (RCD fino) provisto por la cantera.

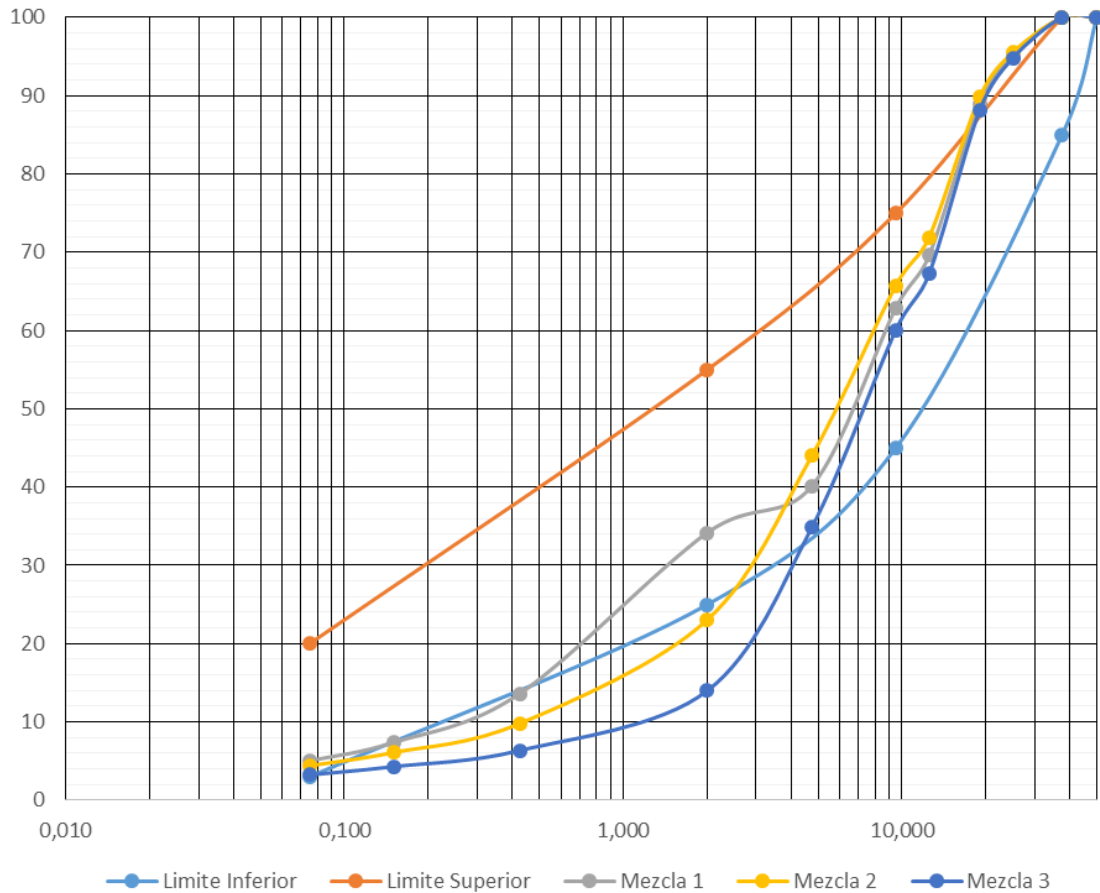
Figura N° 26. Curva granulométrica Eco-arena fina



En función de los resultados expuestos anteriormente se puede apreciar que la muestra de la Eco-arena fina, presentó una curva granulométrica uniforme con predominancia de tamaños de partículas chicas.

Con las tres fracciones anteriores, propusimos tres tipos de mezclas que cumplieran con los entornos granulométricos exigidos por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 para ejecución de sub-bases granulares. A continuación se muestra en la figura N° 27 los resultados obtenidos para las distintas mezclas.

Figura N° 27. Curvas granulométricas mezclas de áridos reciclados de hormigón fraccionado y entornos



La curva granulométrica de la Mezcla 1 es la que está en su totalidad dentro de los límites, mientras que las curvas granulométricas de las Mezclas 2 y 3 observamos que tienen un faltante de los materiales pasantes desde el tamiz N° 4 al N° 100, siendo este menor en la Mezcla 2.

5.3.2 LÍMITE LÍQUIDO

Para determinar los límites líquidos de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Se puede definir al límite líquido como el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el

estado líquido del mismo; o como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm. de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm; aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm; a la velocidad de 2 golpes por segundo.

Figura N° 28. Límite líquido



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Materiales comerciales**

- **Suelo arena**

- ❖ **Cantera Beranek**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 23.

- ❖ **Cantera Canello**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 21,6.

❖ **Cantera San Ignacio**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 21,6.

➤ **Árido triturado**

❖ **0-20**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido triturado provisto por la cantera fue de 12,9.

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera fue de 32,3.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-grancilla (RCD grueso) provisto por la cantera fue de 33,5.

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-arena gruesa (RCD intermedio) provisto por la cantera fue de 36,5.

El límite líquido obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-arena fina (RCD fino) provisto por la cantera fue de 35,1.

5.3.3 LÍMITE PLÁSTICO

Para determinar los límites plásticos de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Límite Plástico – Índice de Plasticidad (VN-E3-65)**”.

Se puede definir al límite plástico como el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. de diámetro.

Figura N° 29. Limite plástico



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Materiales comerciales**

- **Suelo arena**

❖ **Cantera Beranek**

El límite plástico obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 18, mientras que el índice de plasticidad fue de 5.

❖ **Cantera Canello**

El límite plástico obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 18,3; mientras que el índice de plasticidad fue de 3,3.

❖ **Cantera San Ignacio**

El límite plástico obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provista por la cantera fue de 18,5; mientras que el índice de plasticidad fue de 3,1.

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

El límite plástico obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado de RCD mixto provisto por la cantera fue de 30,2; mientras que el índice de plasticidad fue de 2.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

Para estos materiales no se lograron formar las barritas de 3 mm. de diámetro antes que se comiencen a agrietar.

5.3.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS H.R.B.

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B; para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio, fueron agrupados en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7.

El procedimiento para llevar a cabo dicho ensayo está especificado en la norma de la Dirección Nacional de Vialidad **VN-E4-84**, a continuación, en la tabla 5 se detallan los resultados que se obtuvieron en base al límite líquido, índice de plasticidad, índice de grupo y el porcentaje del material que pasa por el tamiz N° 200.

Tabla 5. Clasificación de suelos H.R.B.

	Material							
	Comercial				Reciclado de RCD			
	Suelo arena			Árido triturado	Mixto	H° fraccionado		
	Beranek	Canello	San Ignacio	0-20		Eco-grancilla	Eco-arena gruesa	Eco-arena fina
P T N° 200	6,1	9,9	4,3	4,2	1,1	0,9	5,2	12,7
LL	23	21,6	21,6	12,9	32,3	33,5	36,5	35,1
LP	18	18,3	18,5	NP	30,2	NP	NP	NP
IP	5	3,3	3,1	NP	2	NP	NP	NP
IG	0	0	0	0	0	0	0	0
Clasif H.R.B.	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-a	A-1-b

Como se puede observar, los tres suelo arena fueron clasificados como A-1-b, éste consiste en material granular bien graduado con ligante no plástico o poco plástico en el que predomina la arena gruesa.

Luego, el árido reciclado mixto de hormigón fue clasificado como A-1-a, el cual consiste en material granular bien graduado con ligante no plástico en el que predominan la piedra o grava.

El árido reciclado de hormigón fraccionado, al ser derivado del árido reciclado de RCD mixto, ha sido clasificado como A-1-a para la eco-grancilla y eco-arena gruesa, mientras que la eco-arena fina como A-1-b.

Según la norma de la Dirección Nacional de Vialidad, los materiales que se encuentran en los grupos A-1-a, A-1-b son adecuados como subrasantes cuando están adecuadamente drenados y compactados bajo un espesor moderado de pavimento (base y carpeta de rodadura) de un tipo adecuado para el tráfico que soportará, o que puede adecuarse por adiciones de pequeñas cantidades de ligante natural o artificial.

5.3.5 EQUIVALENTE DE ARENA

Para determinar el equivalente de arena de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Equivalente de Arena (VN-E10-82)**”.

Este ensayo tiene por finalidad determinar rápidamente el contenido de finos y materiales arcillosos en suelos y agregados. Los suelos son en general mezclas de partículas gruesas que mejoran su calidad y partículas finas o arcillosas que son responsables de su mal comportamiento.

El ensayo permite separar las partículas finas o arcillosas de los granos más gruesos. Se debe realizar sobre el material pasante tamiz N° 4 y requiere 45 minutos para su realización.

Figura N° 30. Equivalente de arena





A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

El equivalente de arena obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera fue de 78.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el árido reciclado mixto de hormigón cumple con el requisito para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 y la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, exigen que sea mayor al 50%.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

El equivalente de arena obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-arena fina provisto por la cantera fue de 53.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el material Eco-arena fina es un componente de la mezcla que cumple con el requisito para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 y la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, exigen que sea mayor al 50%.

Entre mayor sea el valor de equivalente de arena, el contenido de finos de la muestra es menor, por lo tanto es más recomendable usar materiales con la menor cantidad de finos posibles, es decir que tenga el mayor valor de equivalente de arena. Esto es importante ya que afecta a la permeabilidad de la obra vial.

5.3.6 DESGASTE

Para determinar el desgaste de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad **“Ensayo de Desgaste Los Ángeles”**.

Este es un ensayo de abrasión de los áridos gruesos. La máquina de Los Ángeles consiste en un tambor cilíndrico de acero que gira en posición horizontal, éste está provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir el volteo del material.

En la máquina de Los Ángeles se introduce una muestra de árido, con una de las cuatro granulometrías indicadas por la norma, y una carga abrasiva compuesta de esferas de fundición o de acero, cuyo peso total depende de la granulometría elegida. Con la muestra y la carga abrasiva en el interior del tambor, se hace girar este a una velocidad constante y durante un número determinado de vueltas, tras lo que se separa la muestra por el tamiz N° 12, lavando y secando en estufa lo retenido en él.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original de la muestra y su peso al final del ensayo, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se le denomina coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Figura N° 31. Desgaste – Máquina Los Ángeles



Figura N° 32. Desgaste – Material resultante del desgaste



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

El desgaste obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera fue de 51,4%.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el árido reciclado mixto de hormigón no es apto para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige que sea menor al 40%. Mientras que según la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD puede ser como máximo de 50%.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

El desgaste obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-grancilla provisto por la cantera fue de 42,9%.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el material Eco-grancilla es un componente de la mezcla que no cumple con el requisito para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige que sea menor al 40%. Mientras que según la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD al poder ser como máximo de 50%, si cumple.

5.3.7 FACTOR DE CUBICIDAD

Para determinar el factor de cubicidad de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Determinación del Factor de Cubicidad (VN-E16-67)**”.

Este ensayo consiste en relacionar la dimensión mínima con las medidas de las partículas de un agregado pétreo, mediante operaciones de zarandeo a través de cribas reductoras y tiene por objeto determinar las características de forma de las partículas que constituyen el agregado, definiendo la misma por el valor que resulta para su factor de cubicidad. Este valor de cubicidad toma el valor de 1 para agregados de cubicidad óptima y 0 para los de cubicidad mínima (partículas sumamente achatadas o lajosas).

A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

El factor de cubicidad obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera fue de 0,97.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el árido reciclado mixto de hormigón es un componente de la mezcla que cumple con el requisito para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige que sea mayor al 0,5. En cuanto a la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, al solo hablar de índice de lajosidad, y exigir que sea menor al 35%, se tomó el equivalente del factor de cubicidad en términos del índice de lajosidad y este fue de 25%; por ende también cumple ya que fue menor al 35%.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

El factor de cubicidad obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material Eco-grancilla provisto por la cantera fue de 0,96.

En base al resultado obtenido, se puede decir que el material Eco-grancilla es un componente de la mezcla que cumple con el requisito para ser utilizado como sub-base granular, ya que según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige que sea mayor al 0,5. En cuanto a la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, al solo hablar de índice de lajosidad, y exigir que sea menor al 35%, se tomó el equivalente del factor de cubicidad en términos del índice de lajosidad y este fue de 25%; por ende también cumple ya que fue menor al 35%.

5.3.8 COMPACTACIÓN

Para determinar la densidad máxima de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Compactación de Suelos (VN-E5-93)**”.

El ensayo de compactación se utiliza para estudiar las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a un determinado esfuerzo de compactación. Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del Peso unitario, llamado Densidad seca máxima.

En este caso el ensayo realizado es el correspondiente a materiales granulares (V) que consiste en realizar cada punto con un número de 5 capas y un número de 56 golpes por capas, dicho ensayo es equivalente a AASHTO T180.

Figura N° 33. Compactación – Máquina compactadora



Figura N° 34. Compactación – Toma de muestra



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

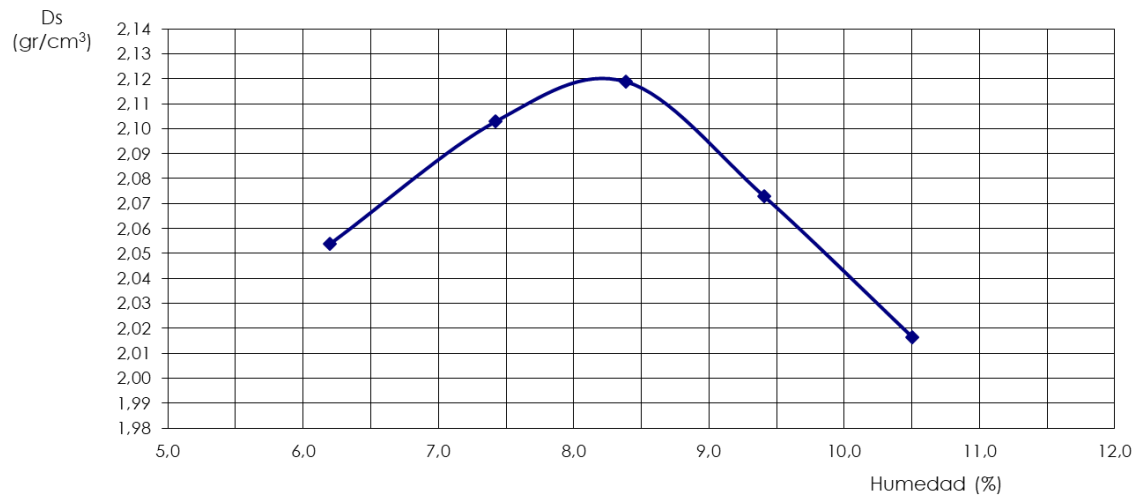
- **Materiales comerciales**

- **Suelo arena**

- ❖ **Cantera Beranek**

En la figura N° 35 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Figura N° 35. Curva de compactación suelo arena Beranek



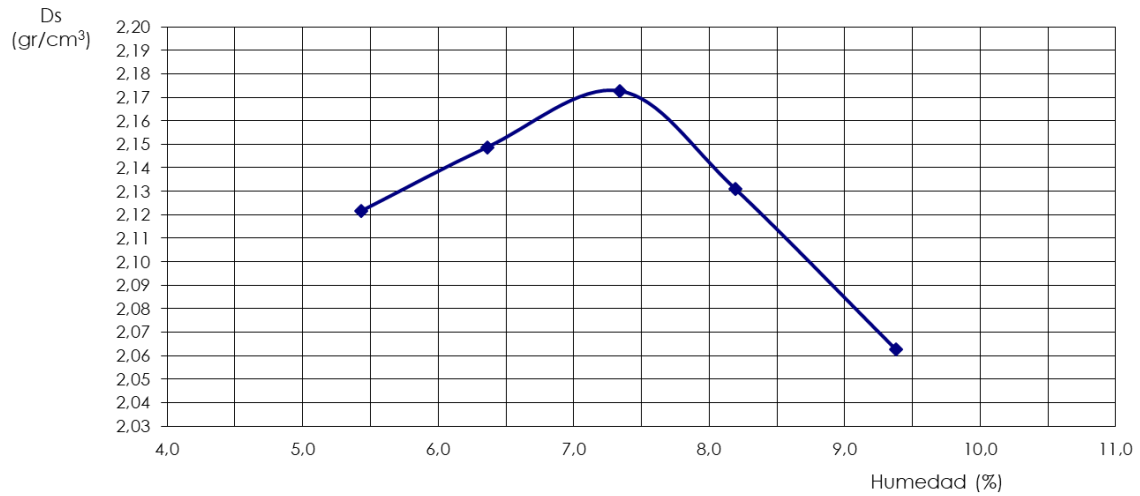
Densidad seca máxima:	2,119 g/cm³
Humedad óptima:	8,4 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 2,013 g/cm³.

❖ **Cantera Canello**

En la figura N° 36 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Figura N° 36. Curva de compactación suelo arena Canello



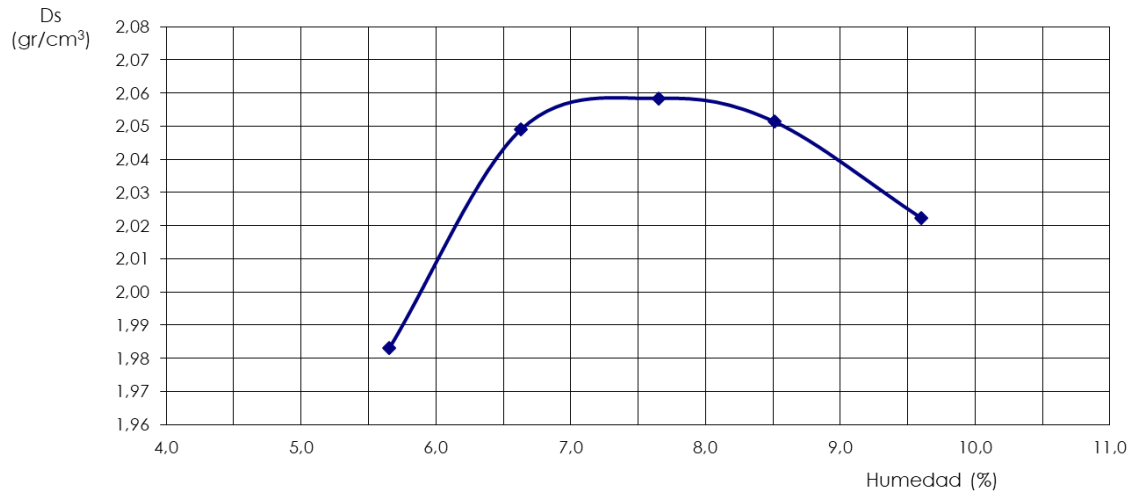
Densidad seca máxima:	2,173 g/cm³
Humedad óptima:	7,3 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 2,064 g/cm³.

❖ **Cantera San Ignacio**

En la figura N° 37 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Figura N° 37. Curva de compactación suelo arena San Ignacio



Densidad seca máxima:	2,058 g/cm³
Humedad óptima:	7,7 %

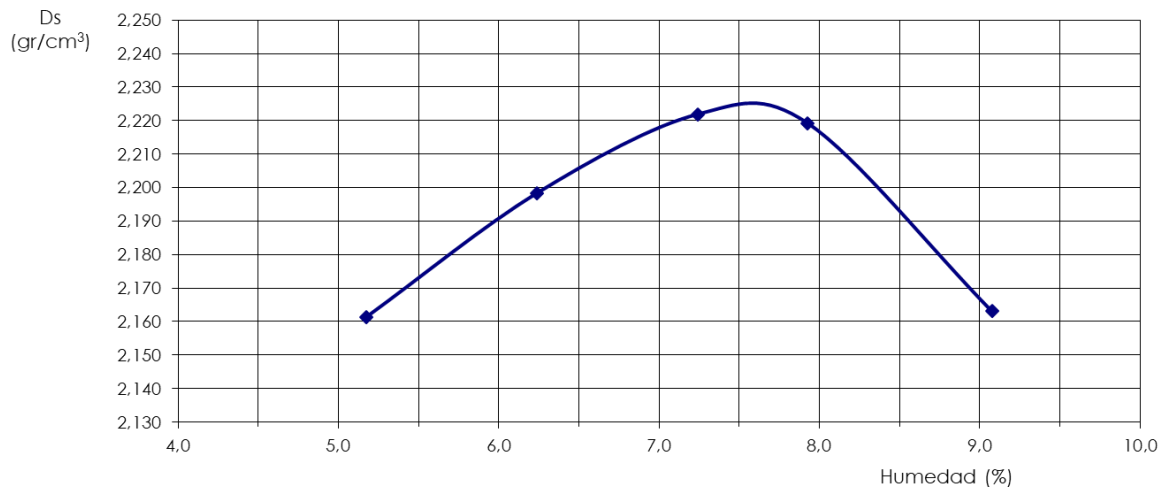
Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 1,955 g/cm³.

➤ **Árido triturado**

❖ **Mezcla 1 (90% 0-20 y 10% 0-6)**

En la figura N° 38 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre la mezcla 1.

Figura N° 38. Curva de compactación mezcla 1 (árido triturado)



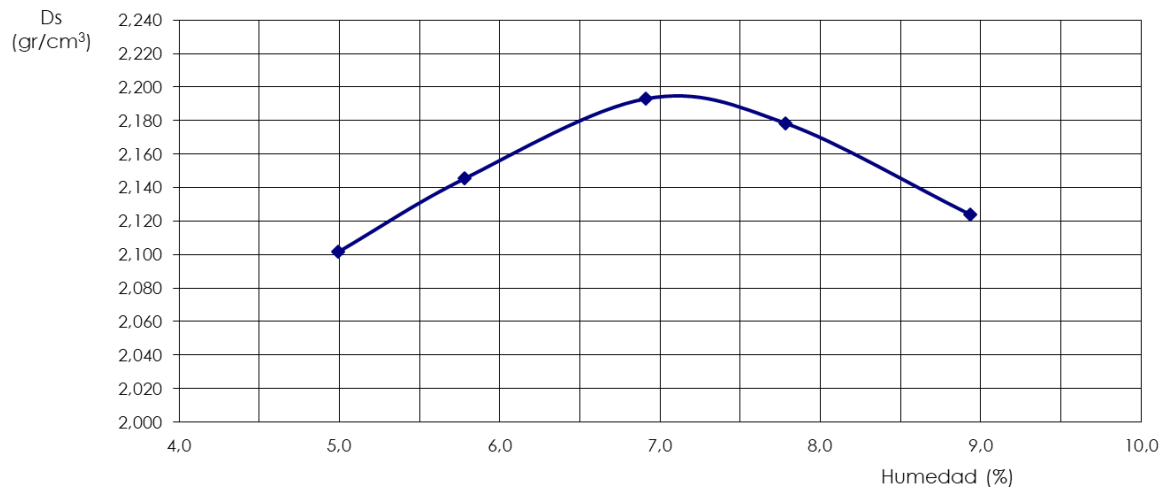
Densidad seca máxima:	2,222 g/cm³
Humedad óptima:	7,2 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 2,111 g/cm³.

❖ **Mezcla 2 (70% 0-20 y 30% 0-6)**

En la figura N° 39 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre la mezcla 2.

Figura N° 39. Curva de compactación mezcla 2 (árido triturado)



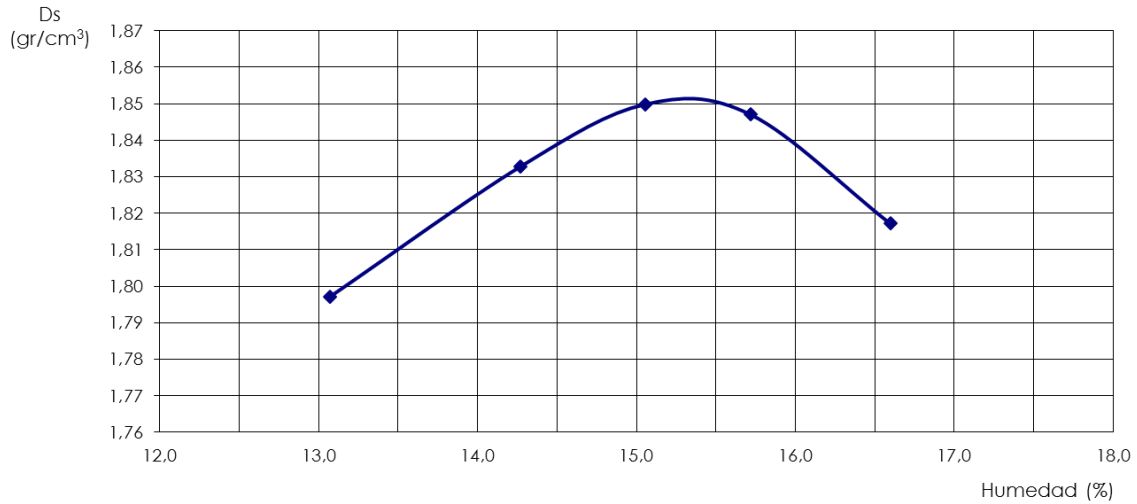
Densidad seca máxima:	2,193 g/cm³
Humedad óptima:	6,9 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 2,083 g/cm³.

- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

En la figura N° 40 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera.

Figura N° 40. Curva de compactación árido reciclado mixto de hormigón



Densidad seca máxima:	1,850 g/cm³
Humedad óptima:	15,1 %

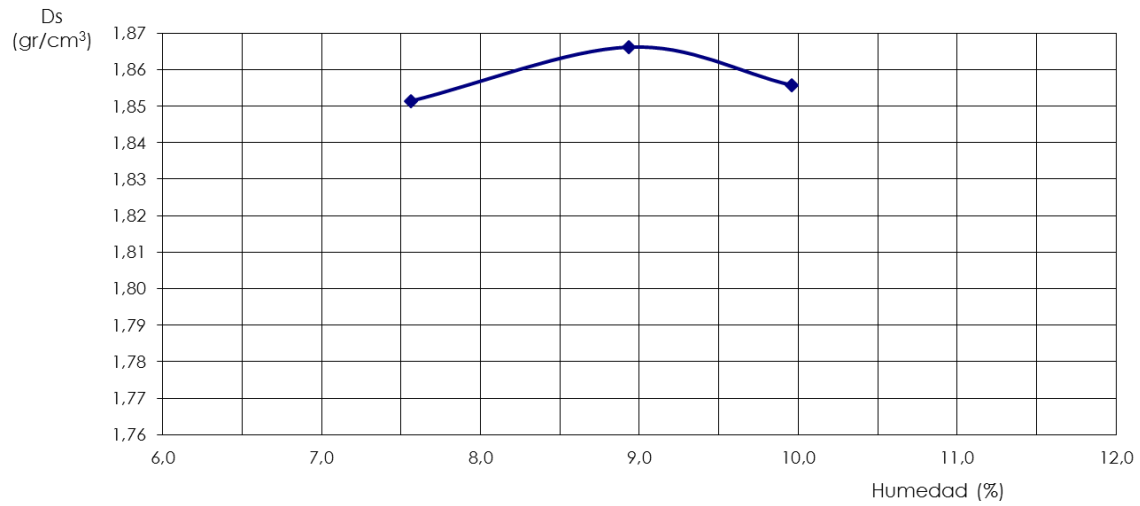
Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 1,758 g/cm³.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

- **Mezcla 1 (65% Eco-grancilla y 35% Eco-arena fina)**

En la figura N° 41 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre la mezcla 1.

Figura N° 41. Curva de compactación mezcla 1 (ARH)



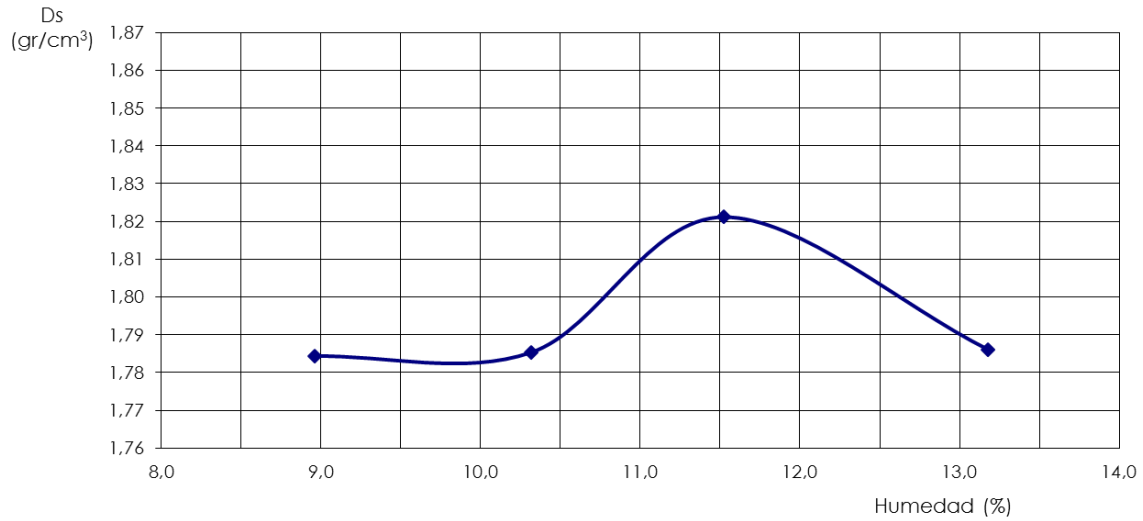
Densidad seca máxima:	1,866 g/cm³
Humedad óptima:	8,9 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 1,773 g/cm³.

➤ **Mezcla 2 (60% Eco-grancilla, 20% Eco-arena gruesa y 20% Eco-arena fina)**

En la figura N° 42 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre la mezcla 2.

Figura N° 42. Curva de compactación mezcla 2 (ARH)



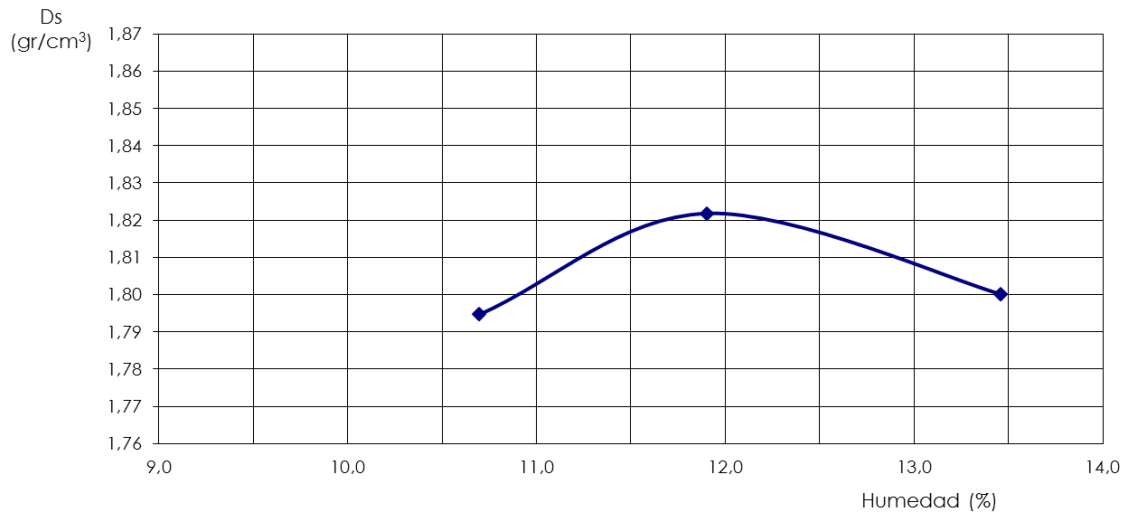
Densidad seca máxima:	1,821 g/cm³
Humedad óptima:	11,5 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 1,730 g/cm³.

➤ **Mezcla 3 (70% Eco-grancilla, 20% Eco-arena gruesa y 10% Eco-arena fina)**

En la figura N° 43 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre la mezcla 3.

Figura N° 43. Curva de compactación mezcla 3 (ARH)



Densidad seca máxima:	1,822 g/cm³
Humedad óptima:	11,9 %

Por Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, se exige el 95% de la densidad máxima obtenida en este ensayo, este valor sería 1,730 g/cm³.

Tabla 6. Resumen compactación

	Material								
	Comercial					Reciclado de RCD			
	Suelo arena			Árido triturado		Mixto	H° fraccionado		
	Beraneq	Canello	San Ignacio	Mezcla 1	Mezcla 2		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	2,12	2,17	2,06	2,22	2,19	1,85	1,87	1,82	1,82
Humedad Óptima (%)	8,40	7,30	7,70	7,20	6,90	15,10	8,90	11,50	11,90

5.3.9 DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE RELATIVO

Para determinar valor soporte relativo de los distintos materiales, se siguieron los lineamientos de la norma de la Dirección Nacional de Vialidad “**Determinación del Valor Soporte Relativo (VN-E6-84)**”.

Se puede definir al valor soporte relativo (V.S.R.) de un suelo como la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.

Figura N° 44. CBR – Probetas a sumergir



Figura N° 45. CBR – Colocación de probeta



Figura N° 46. CBR - Penetración



Figura N° 47. CBR – Probeta ensayada



A continuación, se muestran y analizan los resultados que se obtuvieron para cada material:

- **Materiales comerciales**

- **Suelo arena**

- ❖ **Cantera Beranek**

En la figura N° 41 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como regular. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 no cumplió porque exige como mínimo un 30%.

- ❖ **Cantera Canello**

En la figura N° 41 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como buena. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 cumplió porque exige como mínimo un 30%.

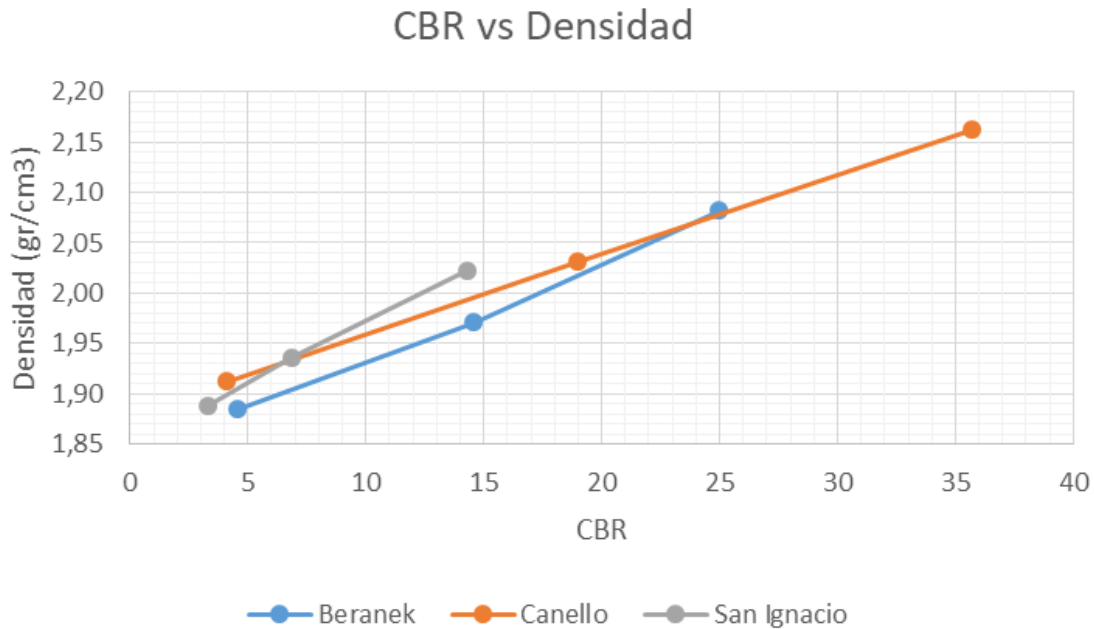
- ❖ **Cantera San Ignacio**

En la figura N° 41 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre el suelo arena provisto por la cantera.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada

como regular. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 no cumplió porque exige como mínimo un 30%.

Figura N° 48. Curvas CBR vs Densidad suelo arena



➤ **Árido triturado**

❖ **Mezcla 1 (90% 0-20 y 10% 0-6)**

En la figura N° 49 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre mezcla 1.

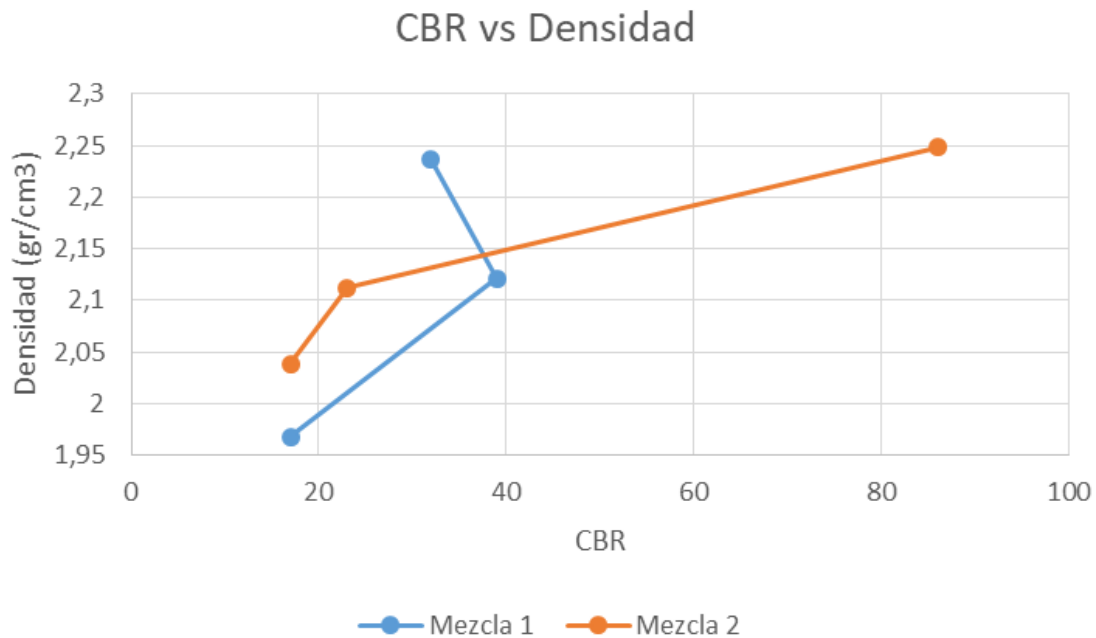
Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como buena. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 no cumplió porque exige como mínimo un 40%.

❖ Mezcla 2 (70% 0-20 y 30% 0-6)

En la figura N° 49 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre mezcla 2.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como excelente. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 si cumplió porque exige como mínimo un 40%.

Figura N° 49. Curvas CBR vs Densidad árido triturado



- **Árido reciclado mixto de hormigón (ARMh)**

En la figura N° 50 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre el árido reciclado mixto de hormigón provisto por la cantera.

En base al ensayo CBR realizado al árido reciclado mixto de hormigón, primeramente se observó una gran variabilidad entre las penetraciones que se realizaban entre las 2 probetas del mismo número de golpes, atribuyéndose esto a la heterogeneidad de dicho material. Luego podemos observar que se obtuvo un valor de CBR mayor a 100%, lo cual es poco común. Dado esto se decidió ensayar mezclas previamente dosificadas que

cumplían con el entorno granulométrico exigido por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7, para ello la cantera nos proveyó de las 3 fracciones de material reciclado antes mencionadas.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como excelente. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 si cumplió porque exige como mínimo un 40%.

- **Árido reciclado de hormigón fraccionado (ARH)**

- **Mezcla 1 (65% Eco-grancilla y 35% Eco-arena fina).**

En la figura N° 50 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre mezcla 1.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como excelente. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 si cumplió porque exige como mínimo un 40%.

- **Mezcla 2 (60% Eco-grancilla, 20% Eco-arena gruesa y 20% Eco-arena fina).**

En la figura N° 50 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre mezcla 2.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como excelente. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 si cumplió porque exige como mínimo un 40%.

➤ **Mezcla 3 (70% Eco-grancilla, 20% Eco-arena gruesa y 10% Eco-arena fina).**

En la figura N° 50 se pueden observar los valores de CBR vs densidad obtenidos del trabajo realizado en laboratorio sobre mezcla 3.

Como conclusión en base a los resultados obtenidos anteriormente se puede decir que los valores de CBR obtenidos pertenecen a una sub-base que puede ser clasificada como excelente. Según el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba en su sección 7 si cumplió porque exige como mínimo un 40%.

Figura N° 50. Curvas CBR vs Densidad árido reciclado de RCD

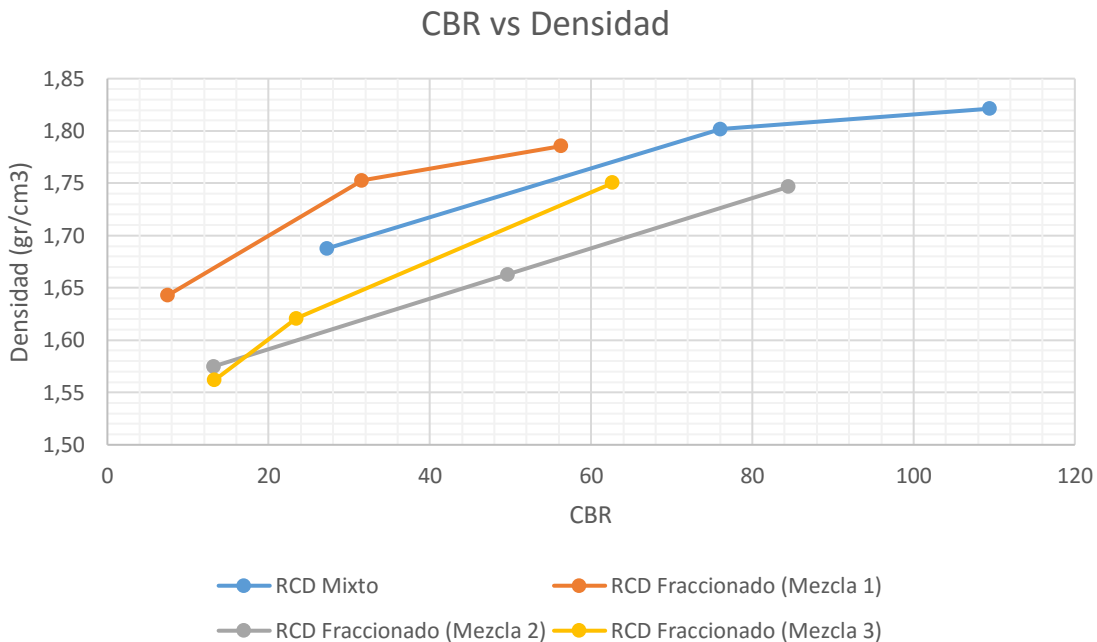


Tabla 7. Resumen CBR

	Material									
	Comercial						Reciclado de RCD			
	Suelo arena			Árido triturado			Mixto	H° fraccionado		
	Beraneq	Canello	San Ignacio	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 1		Mezcla 2	Mezcla 3	
CBR (%)	56	25	36	14	32	86	109	56	85	63
	25	15	19	7	39	23	76	32	50	23
	12	5	4	3	17	17	27	8	13	13
Densidad (gr/cm ³)	56	2,08	2,16	2,02	2,236	2,248	1,82	1,79	1,75	1,75
	25	1,97	2,03	1,94	2,121	2,112	1,80	1,75	1,66	1,62
	12	1,88	1,91	1,89	1,968	2,038	1,69	1,64	1,58	1,56

6. CONCLUSIÓN TÉCNICA

En base a los ensayos de laboratorio que se realizaron, se concluyó en que el árido reciclado presentó mejores resultados que los áridos comerciales, excepto con la mezcla 2 de árido triturado, la cual presenta resultados similares. Es decir que la mezcla 2, tanto de árido triturado como de árido reciclado son muy similares, por ende comparables.

Los ARH cumplieron con las exigencias tanto del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba, como con las de la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD para ejecutar sub-bases granulares.

Los ARMh no cumplieron con algunas de las especificaciones del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba, y de la Guía Española de Áridos Reciclados Procedentes de RCD, como ser con el desgaste Los Ángeles.

Del análisis granulométrico se concluyó en que la mezcla 2 de ARH, es la que mejor se ajustó dentro de los límites exigidos para su uso como sub-base.

En cuanto a la plasticidad, los ARH resultaron ser no plásticos al no mezclar el tratamiento de escombros con tierras de excavación. Mientras que el ARMh si resultó ser plástico ya que la muestra contenía algo de tierra de excavación.

Refiriéndose al desgaste, cabe enunciar que el ARMh evidenció un valor de desgaste mayor al permitido, lo que limita su aplicación como sub-base granular. En cuanto al ARH, el valor obtenido de desgaste si fue menor al exigido por ende si puede ser utilizado.

Con relación al factor de cubricidad, se observó que tanto el ARH como el ARMh presentan valores cercanos a 1, por ende cumplen ampliamente con las exigencias.

En el próctor modificado los áridos comerciales tuvieron una mayor densidad seca máxima y menor contenido de humedad óptima que los áridos reciclados de hormigón y mixtos. Se observó un incremento de la humedad óptima cuanto mayor contenido de material cerámico ofreció el árido reciclado. Asimismo, la combinación de hormigón y cerámico pareció inducir mayores densidades de compactación, como consecuencia de una mayor generación de finos procedentes de la fragmentación tanto del mortero adherido al árido reciclado de hormigón, como del material cerámico.

Los áridos reciclados en general tuvieron los mayores valores de CBR, seguido de los áridos triturados y luego de los suelos arena. Basándose en el alto valor del CBR, se puede esperar que éstos posean una aceptable capacidad de carga y estabilidad estructural.

El mayor valor de CBR en los áridos reciclados, podría estar asociada a la presencia conjunta de hormigón y material cerámico en el árido reciclado. Es decir, que el incremento de resistencia mecánica se podría atribuir a las reacciones puzolánicas entre

los finos cerámicos y la portland presente en el hormigón, en presencia de agua, a cierta hidraulicidad remanente del cemento contenido en los áridos reciclados de hormigón.

De acuerdo con todo lo indicado anteriormente, y teniendo en presente el objetivo de la PPS, que es conocer el comportamiento de los áridos reciclados de RCD para ejecutar sub-bases granulares, se puede decir que el comportamiento de los materiales reciclados de RCD con características diferentes de sus análogos comerciales de cantera, pueden ser similar o peor en función del tipo de material de cantera con el que se compare, pero aun con comportamientos inferiores no implica que deban ser descartados para su uso como sub-base granular.

El principal incumplimiento observado en los áridos reciclados para las aplicaciones estudiadas se refiere a la resistencia al desgaste Los Ángeles. Esto se podría corregir con el aporte de árido natural en al árido reciclado.

Es importante controlar la calidad de los materiales reciclados de RCD en la planta de tratamiento para obtener materiales reciclados con características homogéneas. Los ensayos de caracterización y de comportamiento realizados deben complementarse con ensayos en tramos de prueba de pavimentos, para dar mayor seguridad.

7. CONCLUSIÓN ECONÓMICA

De acuerdo a la conclusión a la que se llegó en el análisis técnico, se realizó la comparación económica entre la mezcla 2 tanto de áridos reciclados de hormigón como la de áridos triturados, ya que presentaron comportamientos similares.

Para ello, se supuso un perfil transversal de sub-base de 0,20 m de espesor y 7,50 m de ancho a lo largo de 1000 m, arrojando esto un volumen de 1500 m³. Luego se averiguaron los costos por tonelada de ambas mezclas, como así también el costo del flete.

A continuación en la tabla 8 se listan los precios de los materiales y fletes:

Tabla 8. Costos de materiales y fletes

	Material	
	Áridos triturados	Áridos reciclados de RCD
	0-20	0-20
\$/Tn	187,55	115,00
\$/Km*Camión	38,57	23,08

En las siguientes tablas se muestra el análisis económico propiamente dicho suponiendo que la distancia de la zona de obra a la cantera La Escombrera va en aumento, mientras que distancia de la zona de obra a la cantera natural se mantiene constante, es decir suponiendo que siempre hay una cantera en un radio de 10 km para abastecer de áridos triturados.

Tabla 9. Costos de materiales para sub-base

	Volumen perfil transv.	Densidad compactación	Cantidad material necesario compactado	Coef. de esponjamiento	Cantidad material necesario suelto	Precio materiales	Costo materiales	Precio flete	Cantidad camiones necesarios	Dist.	Costo flete	Costo Total	Ahorro
Material	m3	Tn/m3	Tn		Tn	\$/Tn	\$	\$/Km*Cam		Km	\$	\$	%
La Escombrera (a 10 Km de obra)	1500	1,821	2731,50	1,30	3550,95	115,00	408359,25	23,08	395	10	91050	499409,25	34
Cantera Natural (a 10 Km de obra)	1500	2,193	3289,50	1,15	3782,93	187,55	616945,73	38,57	366	10	140979	757924,30	

	Volumen perfil transv.	Densidad compactación	Cantidad material necesario compactado	Coef. de esponjamiento	Cantidad material necesario suelto	Precio materiales	Costo materiales	Precio flete	Cantidad camiones necesarios	Dist.	Costo flete	Costo Total	Ahorro
Material	m3	Tn/m3	Tn		Tn	\$/Tn	\$	\$/Km*Cam		Km	\$	\$	%
La Escombrera (a 20 Km de obra)	1500	1,821	2731,50	1,30	3550,95	115,00	408359,25	23,08	395	20	182100,00	590459,25	22
Cantera Natural (a 10 Km de obra)	1500	2,193	3289,50	1,15	3782,93	187,55	616945,73	38,57	366	10	140978,57	757924,30	

	Volumen perfil transv.	Densidad compactación	Cantidad material necesario compactado	Coef. de esponjamiento	Cantidad material necesario suelto	Precio materiales	Costo materiales	Precio flete por km	Cantidad camiones necesarios	Dist.	Costo flete	Costo Total	Ahorro
Material	m3	Tn/m3	Tn		Tn	\$/Tn	\$	\$/Km*Cam		Km	\$	\$	%
La Escombrera (a 30 Km de obra)	1500	1,821	2731,50	1,30	3550,95	115,00	408359,25	23,08	395	30	273150,00	681509,25	10
Cantera Natural (a 10 Km de obra)	1500	2,193	3289,50	1,15	3782,93	187,55	616945,73	38,57	366	10	140978,57	757924,30	

	Volumen perfil transv.	Densidad compactación	Cantidad material necesario compactado	Coef. de esponjamiento	Cantidad material necesario suelto	Precio materiales	Costo materiales	Precio flete por km	Cantidad camiones necesarios	Dist.	Costo flete	Costo Total	Ahorro
Material	m3	Tn/m3	Tn		Tn	\$/Tn	\$	\$/Km*Cam		Km	\$	\$	%
La Escombrera (a 40 Km de obra)	1500	1,821	2731,50	1,30	3550,95	115,00	408359,25	23,08	395	40	364200,00	772559,25	-2
Cantera Natural (a 10 Km de obra)	1500	2,193	3289,50	1,15	3782,93	187,55	616945,73	38,57	366	10	140978,57	757924,30	

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

	Volumen perfil transv.	Densidad compactación	Cantidad material necesario compactado	Coef. de esponjamiento	Cantidad material necesario suelto	Precio materiales	Costo materiales	Precio flete por km	Cantidad camiones necesarios	Dist.	Costo flete	Costo Total	Ahorro
Material	m3	Tn/m3	Tn		Tn	\$/Tn	\$	\$/Km*Cam		Km	\$	\$	%
La Escombrera (a 50 Km de obra)	1500	1,821	2731,50	1,30	3550,95	115,00	408359,25	23,08	395	50	455250,00	863609,25	-14
Cantera Natural (a 10 Km de obra)	1500	2,193	3289,50	1,15	3782,93	187,55	616945,73	38,57	366	10	140978,57	757924,30	

Tras observar los valores arrojados por las tablas anteriores, se concluyó en que es conveniente desde el punto de vista económico la utilización de la mezcla de áridos reciclados de hormigón hasta una distancia menor de 40 Km entre la Escombrera y la zona de obra, ya que se produce un ahorro de dinero; dicho ahorro se va disminuyendo a medida que nos alejamos la Escombrera ya que comienza a ser más costoso el flete. A partir de los 40 km de distancia de la Escombrera se observa que ya no hay ahorro, por ende comienza a ser más caro la utilización de la mezcla de áridos reciclados de hormigón y conviene utilizar la mezcla de áridos triturados provenientes de una cantera natural cercana.

Cabe destacar que ante la igualdad de costos entre las alternativas, es conveniente inclinarse por la mezcla de áridos reciclados de hormigón ya que se tienen los siguientes beneficios:

- Empuje al mercado de áridos reciclados de RCD, lo que conlleva una disminución del volumen de escombros que se depositan en vertederos.
- Reducción del número de explotaciones (canteras) necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto ambiental y de protección de recursos naturales.
- Minimización del impacto ambiental global del sector de la construcción.
- Generación de nuevos puestos de trabajo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Normas de ensayos de la Direccional Nacional de Vialidad.
- Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Obras Viales y Desagües Pluviales de la Municipalidad de Córdoba – Sección 7.
- Apuntes de clases Cátedra de Transporte III – FCEFyN – UNC.
- “Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición” – Proyecto GEAR.
- “Usos de áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de construcción y demolición” – Investigación Prenormativa – Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental (España, 2011).
- Primera jornada de análisis y reflexión sobre restos de obra y demolición en Córdoba – INTI (Córdoba, 2016).
- Arm, M. (2001): “Self-cementing properties of crush demolished concrete in unbound layers: results from triaxial test and field test”.
- Motta, R. dos S. (2005). “Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação em pavimentos de baixo volume de tráfego. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo”.
- Poon, C. S. & Chan, D. (2005). “Feasible Use of Recycled Concrete Aggregates and Crushed Clay Brick as Unbound Road Sub-base”.
- Vegas, I.; Ibanez, J. A.; San Jose, J. T.; Urzelai, A. (2008). Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction”.
- Jiménez, J. R.; Agrela, F. (2011). “A Comparative Study of Recycled Aggregates from Concrete and Mixed debris as Material for Unbound Road Sub-base. Materiales de Construcción”.
- Quintero y Embus. (2015). “Influencia del contenido de humedad en el comportamiento mecánico de un residuo de construcción y demolición (RCD) como material de la estructura del pavimento”.
- Rengifo y Chávez. (2015). “Influencia de la composición en el comportamiento mecánico del pavimento (RCD) como material de la estructura del pavimento”.

9. ANEXO

TABLAS

GRANULOMETRÍA

Tabla 10. Granulometría suelo arena Beranek

Total material ensayado:	9068 gr
Red. pasante tamiz N°40:	987 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
2"	50,800	0	0	9068	0,0	100,0
1 ½"	38,100	0	0	9068	0,0	100,0
1"	25,400	75	75	8993	0,8	99,2
¾"	19,050	15	90	8978	1,0	99,0
½"	12,700	78	168	8900	1,9	98,1
3/8"	9,500	48	216	8852	2,4	97,6
N°4	4,800	515	731	8337	8,1	91,9
N°10	2,000	188	2319	6749	25,6	74,4
N°40	0,425	625	7598	1470	83,8	16,2
N°100	0,149	93	8384	684	92,5	7,5
N°200	0,074	16	8519	549	93,9	6,1

Tabla 11. Granulometría suelo arena Canello

Total material ensayado:	9783 gr
Red. pasante tamiz N°40:	1259 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido	Peso retenido acumulado	Peso pasante	Retenido (%)	Pasante (%)
-------	---------------------	---------------	-------------------------	--------------	--------------	-------------

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

		(gr.)	(gr.)	(gr.)		
2"	50,800	0	0	9783	0,0	100,0
1 ½"	38,100	0	0	9783	0,0	100,0
1"	25,400	202	202	9581	2,1	97,9
¾"	19,050	65	267	9516	2,7	97,3
½"	12,700	105	372	9411	3,8	96,2
⅜"	9,500	27	399	9384	4,1	95,9
Nº4	4,800	252	651	9132	6,7	93,3
Nº10	2,000	111	1456	8327	14,9	85,1
Nº40	0,425	763	6990	2793	71,5	28,5
Nº100	0,149	203	8463	1320	86,5	13,5
Nº200	0,074	48	8811	972	90,1	9,9

Tabla 12. Granulometría suelo arena San Ignacio

Total material ensayado:	8809 gr
Red. pasante tamiz Nº4:	1017 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
2"	50,800	0	0	8809	0,0	100,0
1 ½"	38,100	0	0	8809	0,0	100,0
1"	25,400	30	30	8779	0,3	99,7
¾"	19,050	18	48	8761	0,5	99,5
½"	12,700	78	126	8683	1,4	98,6
⅜"	9,500	27	153	8656	1,7	98,3
Nº4	4,800	191	344	8465	3,9	96,1
Nº10	2,000	167	1734	7075	19,7	80,3
Nº40	0,425	670	7311	1498	83,0	17,0
Nº100	0,149	115	8268	541	93,9	6,1
Nº200	0,074	20	8434	375	95,7	4,3

Tabla 13. Granulometrías suelos arena y entornos

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	Suelo Arena Beranek (%)	Suelo Arena Canello (%)	Suelo Arena San Ignacio (%)
2"	50,800			100,0	100,0	100,0
1 ½"	38,100	100	100	100,0	100,0	100,0
1"	25,400			99,2	97,9	99,7
¾"	19,050			99,0	97,3	99,5
½"	12,700			98,1	96,2	98,6
3/8"	9,500	100	75	97,6	95,9	98,3
Nº4	4,800			91,9	93,3	96,1
Nº10	2,000	85	45	74,4	85,1	80,3
Nº40	0,425	50	22	16,2	28,5	17,0
Nº100	0,149			7,5	13,5	6,1
Nº200	0,074	22	10	6,1	9,9	4,3

Tabla 14. Granulometría árido triturado 0-20

Total material ensayado:	11398 gr
Red. pasante tamiz Nº40:	1451 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 ½"	38,100	0	0	11398	0,0	100,0
1"	25,400	46	46	11352	0,4	99,6
¾"	19,050	492	538	10860	4,7	95,3
½"	12,700	2001	2539	8859	22,3	77,7
3/8"	9,500	594	3133	8265	27,5	72,5
Nº4	4,800	1917	5050	6348	44,3	55,7
Nº10	2,000	374	6686	4712	58,7	41,3
Nº40	0,425	631	9447	1951	82,9	17,1
Nº100	0,149	254	10558	840	92,6	7,4
Nº200	0,074	83	10921	477	95,8	4,2

Tabla 15. Granulometría árido triturado 0-6

Total material ensayado:	10166 gr
Red. pasante tamiz N°40:	1379 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 ½"	38,100	0	0	10166	0,0	100,0
1"	25,400	0	0	10166	0,0	100,0
¾"	19,050	0	0	10166	0,0	100,0
½"	12,700	0	0	10166	0,0	100,0
3/8"	9,500	0	0	10166	0,0	100,0
N°4	4,800	601	601	9565	5,9	94,1
N°10	2,000	429	3577	6589	35,2	64,8
N°40	0,425	570	7530	2636	74,1	25,9
N°100	0,149	221	9063	1103	89,2	10,8
N°200	0,074	79	9611	555	94,5	5,5

Tabla 16. Granulometrías mezclas áridos triturados y entornos

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	90 - 10	70 - 30
1 ½"	38,100	100	85	100,0	100,0
1"	25,400			99,6	99,7
¾"	19,050			95,8	96,7
½"	12,700			80,0	84,4
3/8"	9,500	75	45	75,3	80,8
N°4	4,800			59,5	67,2
N°10	2,000	55	25	43,7	48,4
N°40	0,425			18,0	19,8
N°100	0,149			7,7	8,4
N°200	0,074	20	3	4,3	4,6

Tabla 17. Granulometría árido reciclado mixto de hormigón

Total material ensayado:	9813 gr
Red. pasante tamiz N°4:	1949 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1"	25,400	2427	2427	7386	24,7	75,3
3/4"	19,050	1207	3634	6179	37,0	63,0
1/2"	12,700	2084	5718	4095	58,3	41,7
3/8"	9,500	539	6257	3556	63,8	36,2
N°4	4,800	1607	7864	1949	80,1	19,9
N°10	2,000	860	8724	1089	88,9	11,1
N°40	0,425	715	9439	374	96,2	3,8
N°100	0,149	179	9618	195	98,0	2,0
N°200	0,074	89	9707	106	98,9	1,1

Tabla 18. Granulometría Eco-grancilla

Total material ensayado:	9526 gr
Red. pasante tamiz N°4:	-

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1"	25,000	705	705	8821	7,4	92,6
3/4"	18,750	909	1614	7912	16,9	83,1
1/2"	12,500	2844	4458	5068	46,8	53,2
3/8"	9,500	970	5428	4098	57,0	43,0
N°4	4,800	3323	8751	775	91,9	8,1
N°10	2,000	542	9293	233	97,6	2,4
N°40	0,425	86	9379	147	98,5	1,5
N°100	0,149	41	9420	106	98,9	1,1

Nº200	0,074	19	9439	87	99,1	0,9
-------	-------	----	------	----	------	-----

Tabla 19. Granulometría Eco-arena gruesa

Total material ensayado:	5938 gr
Red. pasante tamiz Nº4:	1180 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1"	25,000	0	0	5938	0,0	100,0
3/4"	18,750	0	0	5938	0,0	100,0
1/2"	12,500	6	6	5932	0,1	99,9
3/8"	9,500	0	6	5932	0,1	99,9
Nº4	4,800	222	228	5710	3,8	96,2
Nº10	2,000	998	5057	881	85,2	14,8
Nº40	0,425	79	5440	498	91,6	8,4
Nº100	0,149	25	5561	377	93,6	6,4
Nº200	0,074	14	5628	310	94,8	5,2

Tabla 20. Ensayo de Granulometría Eco-arena fina

Total material ensayado:	5308 gr
Red. pasante tamiz Nº4:	1102 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1"	25,000	0	0	5308	0,0	100,0
3/4"	18,750	0	0	5308	0,0	100,0
1/2"	12,500	0	0	5308	0,0	100,0
3/8"	9,500	10	10	5298	0,2	99,8
Nº4	4,800	11	21	5287	0,4	99,6
Nº10	2,000	72	366	4942	6,9	93,1

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y
ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

Nº40	0,425	631	3394	1914	63,9	36,1
Nº100	0,149	188	4296	1012	80,9	19,1
Nº200	0,074	70	4632	676	87,3	12,7

Tabla 21. Granulometría mezclas de áridos reciclados de hormigón fraccionado y entornos

Tamiz		Mezclas Limites Pliego		Mezcla 1				Mezcla 2				Mezcla 3			
		Límite Inferior	Limite Superior	65% RCD 1	0% RCD 2	35% RCD 3	% Pasante	60% RCD 1	20% RCD 2	20% RCD 3	% Pasante	70% RCD 1	20% RCD 2	10% RCD 3	% Pasante
		% Pasante	% Pasante	0,65	0,00	0,35		0,60	0,20	0,20		0,70	0,20	0,10	
2"	50,00 0	100,00	100,00	65,00	0,00	35,00	100,00	60,00	20,00	20,00	100,00	70,00	20,00	10,00	100,00
1 1/2"	37,50 0	85,00	100,00	65,00	0,00	35,00	100,00	60,00	20,00	20,00	100,00	70,00	20,00	10,00	100,00
1"	25,00 0			60,19	0,00	35,00	95,19	55,56	20,00	20,00	95,56	64,82	20,00	10,00	94,82
3/4"	19,00 0			53,99	0,00	35,00	88,99	49,84	20,00	20,00	89,84	58,14	20,00	10,00	88,14
1/2"	12,50 0			34,58	0,00	35,00	69,58	31,92	19,98	20,00	71,90	37,24	19,98	10,00	67,22
3/8"	9,500	45,00	75,00	27,96	0,00	34,93	62,90	25,81	19,98	19,96	65,75	30,11	19,98	9,98	60,08
4	4,750			5,28	0,00	34,86	40,14	4,88	19,23	19,92	44,03	5,69	19,23	9,96	34,88
10	2,000	25,00	55,00	1,59	0,00	32,58	34,17	1,46	2,96	18,62	23,04	1,71	2,96	9,31	13,98
40	0,425			1,00	0,00	12,61	13,61	0,92	1,67	7,21	9,80	1,08	1,67	3,60	6,36
100	0,150			0,72	0,00	6,66	7,38	0,67	1,63	3,81	6,10	0,78	1,63	1,90	4,31
200	0,075	3,00	20,00	0,59	0,00	4,43	5,02	0,55	1,33	2,53	4,41	0,64	1,33	1,27	3,23

LÍMITE LÍQUIDO

Tabla 22. Límite líquido suelo arena Beranek

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	22		
Pf (gr):	15,6		
Pf + Psh (gr):	28,8		
Pf + Pss (gr):	26,3		
Pss (gr):	10,7		
Pa (gr):	2,5		
Humedad (%):	23,4		
Límite de consistencia:	23,0		
Límite de consistencia:	23		

Tabla 23. Límite líquido suelo arena Canello

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	23		
Pf (gr):	16,0		
Pf + Psh (gr):	28,3		
Pf + Pss (gr):	26,1		
Pss (gr):	10,1		
Pa (gr):	2,2		
Humedad (%):	21,8		
Límite de consistencia:	21,6		
Límite de consistencia:	21,6		

Tabla 24. Límite líquido suelo arena San Ignacio

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	21		
Pf (gr):	16,1		
Pf + Psh (gr):	29,9		
Pf + Pss (gr):	27,4		
Pss (gr):	11,3		
Pa (gr):	2,5		
Humedad (%):	22,1		
Límite de consistencia:	21,6		
Límite de consistencia:	21,6		

Tabla 25. Límite líquido árido triturado 0-20

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	21	20	21
Pf (gr):	15,9	16,5	16,9
Pf + Psh (gr):	26,1	27,3	31,0
Pf + Pss (gr):	24,8	26,2	29,3
Pss (gr):	8,9	9,7	12,4
Pa (gr):	1,3	1,1	1,7
Humedad (%):	14,6	11,3	13,7
Límite de consistencia:	14,3	11,0	13,4
Límite de consistencia:	12,9		

Tabla 26. Límite líquido árido reciclado mixto de hormigón

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	22		

Pf (gr):	15,8		
Pf + Psh (gr):	32,8		
Pf + Pss (gr):	28,6		
Pss (gr):	12,8		
Pa (gr):	4,2		
Humedad (%):	32,8		
Límite de consistencia:	32,3		
Límite de consistencia:	32,3		

Tabla 27. Límite líquido Eco-grancilla

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	28		
Pf (gr):	18,0		
Pf + Psh (gr):	29,7		
Pf + Pss (gr):	26,8		
Pss (gr):	8,8		
Pa (gr):	2,9		
Humedad (%):	33,0		
Límite de consistencia:	33,5		
Límite de consistencia:	33,5		

Tabla 28. Límite líquido Eco-arena gruesa

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	23		
Pf (gr):	15,8		
Pf + Psh (gr):	27,3		
Pf + Pss (gr):	24,2		

Pss (gr):	8,4		
Pa (gr):	3,1		
Humedad (%):	36,9		
Límite de consistencia:	36,5		
Límite de consistencia:	36,5		

Tabla 29. Límite líquido Eco-arena fina

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
Nº de golpes	26		
Pf (gr):	16,6		
Pf + Psh (gr):	28,2		
Pf + Pss (gr):	25,2		
Pss (gr):	8,6		
Pa (gr):	3,0		
Humedad (%):	34,9		
Límite de consistencia:	35,1		
Límite de consistencia:	35,1		

LÍMITE PLÁSTICO

Tabla 30. Límite plástico suelo arena Beranek

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Nº de golpes	-		
Pf (gr):	17,8		
Pf + Psh (gr):	36,5		
Pf + Pss (gr):	33,7		

Pss (gr):	15,9		
Pa (gr):	2,8		
Humedad (%):	17,6		
Límite de consistencia:	17,6		
Límite de consistencia:	18		
Índice de Plasticidad:	5		

Tabla 31. Límite plástico suelo arena Canello

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Nº de golpes	-		
Pf (gr):	18,2		
Pf + Psh (gr):	36,3		
Pf + Pss (gr):	33,5		
Pss (gr):	15,3		
Pa (gr):	2,8		
Humedad (%):	18,3		
Límite de consistencia:	18,3		
Límite de consistencia:	18,3		
Índice de Plasticidad:	3,3		

Tabla 32. Límite plástico suelo arena San Ignacio

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Nº de golpes	-		
Pf (gr):	18,2		
Pf + Psh (gr):	37,4		
Pf + Pss (gr):	34,4		
Pss (gr):	16,2		

Pa (gr):	3,0		
Humedad (%):	18,5		
Límite de consistencia:	18,5		
Límite de consistencia:	18,5		
Índice de Plasticidad:	3,1		

Tabla 33. Límite plástico árido reciclado mixto de hormigón

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Nº de golpes	-		
Pf (gr):	18,0		
Pf + Psh (gr):	39,1		
Pf + Pss (gr):	34,2		
Pss (gr):	16,2		
Pa (gr):	4,9		
Humedad (%):	30,2		
Límite de consistencia:	30,2		
Límite de consistencia:	30,2		
Índice de Plasticidad:	2,0		

EQUIVALENTE DE ARENA

Tabla 34. Equivalente de arena árido reciclado mixto de hormigón

Muestra	Lectura finos	Lectura arena	Equivalente de arena (%)
1	55	42	76
2	57	45	79
Promedio			78

Tabla 35. Equivalente de arena Eco-arena fina

Muestra	Lectura finos	Lectura arena	Equivalente de arena (%)
1	67	36	54
2	72	38	53
Promedio			53

DESGASTE

Tabla 36. Desgaste Los Ángeles árido reciclado mixto de hormigón

Carga abrasiva (esferas):	A
Carga abrasiva (esferas):	12
Nº vueltas tambor	500
Fracción Nº 1 (gr.):	1250
Fracción Nº 2 (gr.):	1250
Fracción Nº 3 (gr.):	1250
Fracción Nº 4 (gr.):	1250
Peso muestra (gr.):	5000
Retenido tamiz Nº12 (gr.):	2431
Pérdida por abrasión (%):	51,4

Tabla 37. Desgaste Los Ángeles Eco-grancilla

Gran. tipo seleccionada:	A
Carga abrasiva (esferas):	12
Nº vueltas tambor	500
Fracción Nº 1 (gr.):	1259
Fracción Nº 2 (gr.):	1251
Fracción Nº 3 (gr.):	1250
Fracción Nº 4 (gr.):	1251
Peso muestra (gr.):	5011

Retenido tamiz N°12 (gr.):	2863
Pérdida por abrasión (%):	42,9

FACTOR DE CUBICIDAD

Tabla 38. Factor de cubicidad árido reciclado mixto de hormigón

Gran. seleccionada:	B
---------------------	---

Pasante tamiz	Retenido tamiz	Masa de la fracción (kg)	Agregado retenido en criba reductora				Peso material de fondo (gr)
			I (R _I)		II (R _{II})		
			Peso (gr)	Peso (%)	Peso (gr)	Peso (%)	
32 mm	25 mm	2000	1879	94,0	115	5,8	6
25 mm	19 mm	2000	1898	94,9	97	4,9	5
19 mm	16 mm	2000	1872	93,6	119	6,0	9
				282,5		16,6	

Factor de cubicidad:	0,97
----------------------	-------------

Tabla 39. Factor de cubicidad Eco-grancilla

Gran. Tipo seleccionada:	B
--------------------------	---

Pasante tamiz	Retenido tamiz	Masa de la fracción (kg)	Agregado retenido en criba reductora				Peso material de fondo (gr)
			I (R _I)		II (R _{II})		
			Peso (gr)	Peso (%)	Peso (gr)	Peso (%)	
32 mm	25 mm	2000	1865	93,3	127	6,4	8
25 mm	19 mm	2000	1886	94,3	102	5,1	12
19 mm	16 mm	2000	1858	92,9	125	6,3	17
				280,5		17,7	

Factor de cubicidad:

0,96

COMPACTACIÓN

Tabla 40. Compactación suelo arena Beranek

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	6,0	7626	3050	4576	2098	2,181	2,181	1542	1452	90	6,2
2	7,0	7789	3050	4739	2098	2,259	2,259	1274	1186	88	7,4
3	8,0	7868	3050	4818	2098	2,296	2,296	1293	1193	100	8,4
4	9,0	7808	3050	4758	2098	2,268	2,268	1384	1265	119	9,4
5	10,0	7725	3050	4675	2098	2,228	2,228	1410	1276	134	10,5

Tabla 41. Compactación suelo arena Canello

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	5,0	7743	3050	4693	2098	2,237	2,237	1378	1307	71	5,4
2	6,0	7845	3050	4795	2098	2,286	2,286	1371	1289	82	6,4
3	7,0	7943	3050	4893	2098	2,332	2,332	1477	1376	101	7,3
4	8,0	7887	3050	4837	2098	2,306	2,306	1281	1184	97	8,2
5	9,0	7783	3050	4733	2098	2,256	2,256	1446	1322	124	9,4

Tabla 42. Compactación suelo arena San Ignacio

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	6,0	7446	3050	4396	2098	2,095	2,095	1345	1273	72	5,7
2	7,0	7634	3050	4584	2098	2,185	2,185	91222	1146	76	6,6
3	8,0	7699	3050	4649	2098	2,216	2,216	1280	1189	91	7,7
4	9,0	7720	3050	4670	2098	2,226	2,226	1364	1257	107	8,5
5	10,0	7700	3050	4650	2098	2,216	2,216	1427	1302	125	9,6

Tabla 43. Compactación mezcla 1 (árido triturado)

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	5,0	7819	3050	4769	2098	2,273	2,273	1342	1276	66,0	5,2
2	6,0	7950	3050	4900	2098	2,336	2,336	1243	1170	73,0	6,2
3	7,0	8049	3050	4999	2098	2,383	2,383	1185	1105	80,0	7,2
4	8,0	8075	3050	5025	2098	2,395	2,395	1239	1148	91,0	7,9
5	9,0	8000	3050	4950	2098	2,359	2,359	1274	1168	106,0	9,1

Tabla 44. Compactación mezcla 2 (árido triturado)

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	5,0	7679	3050	4629	2098	2,206	2,206	1241	1182	59,0	5,0
2	6,0	7811	3050	4761	2098	2,269	2,269	1153	1090	63,0	5,8
3	7,0	7969	3050	4919	2098	2,345	2,345	1191	1114	77,0	6,9
4	8,0	7976	3050	4926	2098	2,348	2,348	1205	1118	87,0	7,8
5	9,0	7904	3050	4854	2098	2,314	2,314	1268	1164	104,0	8,9

Tabla 45. Compactación árido reciclado mixto de hormigón

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	13,0	7314	3053	4261	2097	2,032	2,032	1341	1186	155,0	13,1
2	14,0	7445	3053	4392	2097	2,094	2,094	1177	1030	147,0	14,3
3	15,0	7516	3053	4463	2097	2,128	2,128	1307	1136	171,0	15,1
4	16,0	7535	3053	4482	2097	2,137	2,137	1281	1107	174,0	15,7
5	17,0	7496	3053	4443	2097	2,119	2,119	1384	1187	197,0	16,6

Tabla 46. Compactación mezcla 1 (ARH fraccionado)

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	7,0	7316	3053	4263	2097	2,033	2,033	1256	1153	103,0	8,9
2	8,0	7332	3053	4279	2097	2,041	2,041	1292	1175	117,0	10,0

3	6,0	7229	3053	4176	2097	1,991	1,991	1266	1177	89,0	7,6
---	-----	------	------	------	------	-------	-------	------	------	------	-----

Tabla 47. Compactación mezcla 2 (ARH fraccionado)

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	8,0	7130	3053	4077	2097	1,944	1,944	1058	971	87,0	9,0
2	9,0	7183	3053	4130	2097	1,969	1,969	1048	950	98,0	10,3
3	10,0	7312	3053	4259	2097	2,031	2,031	1055	946	109,0	11,5
4	11,0	7292	3053	4239	2097	2,021	2,021	1039	918	121,0	13,2

Tabla 48. Compactación mezcla 3 (ARH fraccionado)

Punto	H Est (%)	Wm + Ws (gr)	Wm (gr)	Ws (gr)	Vm (cm ³)	Dh (g/cm ³)	Ds (g/cm ³)	Wsh (gr)	Wss (gr)	Ww (gr)	H (%)
1	10,0	7219	3053	4166	2097	1,987	1,987	1190	1075	115,0	10,7
2	11,0	7328	3053	4275	2097	2,039	2,039	1260	1126	134,0	11,9
3	12,0	7336	3053	4283	2097	2,042	2,042	1256	1107	149,0	13,5

VALOR SOPORTE RELATIVO

Tabla 49. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena Beranek

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
3	56	9874	5121	4753	2113	2,25	8,7	2,070	97,7
13	56	8856	4100	4756	2088	2,28	8,8	2,093	98,8
14	25	8821	4294	4527	2108	2,15	8,8	1,973	93,1
5	25	9715	5205	4510	2105	2,14	8,8	1,970	93,0
2	12	9593	5228	4365	2147	2,03	8,9	1,867	88,1
12	12	8435	4128	4307	2086	2,06	8,5	1,902	89,8

Tabla 50. Lecturas de dial – Suelo arena Beranek

Molde	3	13	14	5	2	12
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	27,9	27,9	55,8	62,7	34,9	27,9
0,050	55,8	69,7	97,6	104,6	45,3	38,3
0,075	90,6	125,5	139,4	139,4	55,8	45,3
0,100	129,0	181,3	160,4	160,4	66,2	52,3
0,200	362,5	446,2	292,8	299,8	101,1	83,7
0,300	627,5	739,0	446,2	446,2	146,4	125,5
0,400	934,2	1059,7	613,5	599,6	195,2	167,3

Tabla 51. CBR vs. Densidad – Suelo arena Beranek

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
3	56	23,4	2,07	25	2,08	98,2
13	56	26,6	2,09			
14	25	14,4	1,97	15	1,97	93,0
5	25	14,7	1,97			
2	12	5,0	1,87	5	1,88	89,0
12	12	4,1	1,90			

Tabla 52. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena Canello

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
13	56	8980	4100	4880	2088	2,34	7,8	2,168	99,8
5	56	10094	5205	4889	2105	2,32	7,7	2,156	99,2
2	25	9932	5228	4704	2147	2,19	7,5	2,039	93,8
3	25	9720	5121	4599	2113	2,18	7,6	2,023	93,1

12	12	8508	4128	4380	2086	2,10	7,6	1,952	89,8
14	12	8535	4294	4241	2108	2,01	7,4	1,873	86,2

Tabla 53. Lecturas de dial – Suelo arena Canello

Molde	13	5	2	3	12	14
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	33,5	34,9	90,6	87,1	31,4	31,4
0,050	75,3	83,7	167,3	167,3	41,8	45,3
0,075	125,5	163,8	212,6	212,6	45,3	52,3
0,100	188,2	258,0	247,5	251,0	52,3	59,3
0,200	506,2	662,3	390,4	380,0	76,7	73,2
0,300	870,1	1052,8	502,0	488,0	97,6	83,7
0,400	1242,4	1408,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 54. CBR vs. Densidad – Suelo arena Canello

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
13	56	32,2	2,17	36	2,162	99,5
5	56	39,1	2,16			
2	25	19,2	2,04	19	2,031	93,5
3	25	18,7	2,02			
12	12	3,9	1,95	4	1,912	88,0
14	12	4,4	1,87			

Tabla 55. Compactación de probetas para CBR – Suelo arena San Ignacio

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
12	56	8640	4128	4512	2086	2,16	7,6	2,011	97,7

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

3	56	9753	5121	4632	2113	2,19	7,7	2,035	98,9
14	25	8657	4294	4363	2108	2,07	7,8	1,919	93,2
2	25	9748	5228	4520	2147	2,11	7,8	1,953	94,9
5	12	9486	5205	4281	2105	2,03	7,8	1,886	91,6
13	12	8368	4100	4268	2088	2,04	8,1	1,891	91,9

Tabla 56. Lecturas de dial – Suelo arena San Ignacio

Molde	12	3	14	2	5	13
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	41,8	45,3	27,9	27,9	24,4	17,4
0,050	83,7	90,6	38,3	50,9	34,9	24,4
0,075	101,1	139,4	45,3	69,7	41,8	27,9
0,100	136,0	156,9	55,8	87,1	52,3	31,4
0,200	268,4	313,7	111,6	167,3	73,2	55,8
0,300	414,8	662,3	184,8	262,1	104,6	87,1
0,400	557,8	808,7	251,0	362,5	139,4	125,5

Tabla 57. CBR vs. Densidad – Suelo arena San Ignacio

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
12	56	13,2	2,01	14	2,023	98,3
3	56	15,4	2,04			
14	25	5,5	1,92	7	1,936	94,1
2	25	8,2	1,95			
5	12	3,9	1,89	3	1,888	91,7
13	12	2,7	1,89			

Tabla 58. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 1 (árido triturado)

Molde	Nº de	Peso	Peso	Peso	Volumen	Densidad	Humedad	Densidad	Comp.
-------	-------	------	------	------	---------	----------	---------	----------	-------

	golpes	M+S+A (gr)	molde (gr)	S+A (gr)	molde (cm ³)	húmeda (g/cm ³)	(%)	seca (g/cm ³)	Relativa (%)
13	56	9101	4100	5001	2088	2,40	7,1	2,236	100,6
2	25	10108	5228	4880	2147	2,27	7,1	2,121	95,5
14	12	8741	4294	4447	2108	2,11	7,2	1,968	88,6

Tabla 59. Lectura de dial – Mezcla 1 (árido triturado)

Molde	13	2	14
Penet.	56g	25g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0
0,025	28,2	70,6	56,5
0,050	63,6	162,4	113,0
0,075	113,0	268,3	162,4
0,100	183,6	381,3	190,7
0,200	550,8	776,8	339,0
0,300	939,2	1115,7	473,1
0,400	1285,2	0,0	0,0

Tabla 60. CBR vs. Densidad – Mezcla 1 (árido triturado)

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)
13	56	32	2,236
2	25	39	2,121
14	12	17	1,968

Tabla 61. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 2 (árido triturado)

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
12	56	9131	4128	5003	2086	2,40	6,7	2,248	102,5

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

3	25	9888	5121	4767	2113	2,26	6,8	2,112	96,3
5	12	9785	5205	4580	2105	2,18	6,8	2,038	93,0

Tabla 62. Lectura de dial – Mezcla 2 (árido triturado)

Molde	12	3	5
Penet.	56g	25g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0
0,025	49,4	28,2	28,2
0,050	141,2	91,8	77,7
0,075	289,5	169,5	134,2
0,100	557,9	240,1	176,5
0,200	1497,1	459,0	339,0
0,300	2231,5	685,0	501,4
0,400	0,0	0,0	0,0

Tabla 63. CBR vs. Densidad – Mezcla 2 (árido triturado)

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)
12	56	86	2,248
3	25	23	2,112
5	12	17	2,038

Tabla 64. Compactación de probetas para CBR – Árido reciclado de mixto de hormigón

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
3	56	9572	5121	4451	2113	2,11	15,0	1,831	99,0
2	56	9706	5228	4478	2147	2,09	15,1	1,811	97,9

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

13	25	8469	4100	4369	2088	2,09	15,5	1,811	97,9
5	25	9543	5205	4338	2105	2,06	15,0	1,792	96,9
14	12	8421	4294	4127	2108	1,96	15,6	1,693	91,5
12	12	8147	4128	4019	2086	1,93	14,5	1,682	90,9

Tabla 65. Lecturas de dial – Árido reciclado mixto de hormigón

Molde	3	2	13	5	14	12
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	204,8	218,9	176,5	56,5	28,2	14,1
0,050	402,5	543,7	395,5	183,6	63,6	42,4
0,075	635,6	896,8	635,6	374,3	130,6	74,1
0,100	900,4	1228,7	896,8	572,0	218,9	127,1
0,200	1934,9	2514,0	1733,6	1359,4	529,6	579,1
0,300	2909,4	3530,8	2393,9	2097,3	780,3	1016,9
0,400	3746,2	4526,5	3121,3	2754,1	981,6	1348,8

Tabla 66. CBR vs. Densidad – Árido reciclado mixto de hormigón

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
3	56	95	1,831	109	1,821	98,5
2	56	124	1,811			
13	25	85	1,811	76	1,802	97,4
5	25	67	1,792			
14	12	26	1,693	27	1,688	91,2
12	12	28	1,682			

Tabla 67. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 1 (ARH)

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
14	56	8377	4294	4083	2108	1,94	8,7	1,782	95,5
5	56	9294	5205	4089	2105	1,94	8,6	1,789	95,9
3	25	9131	5121	4010	2113	1,90	8,8	1,744	93,5
13	25	8093	4100	3993	2088	1,91	8,6	1,761	94,4
12	12	7878	4128	3750	2086	1,80	8,9	1,650	88,4
2	12	9045	5228	3817	2147	1,78	8,6	1,636	87,7

Tabla 68. Lecturas de dial – Mezcla 1 (ARH)

Molde	14	5	3	13	12	2
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	120,0	339,0	148,3	155,4	49,4	63,6
0,050	381,3	522,6	247,2	275,4	70,6	84,7
0,075	635,6	628,5	324,8	360,1	84,7	98,9
0,100	819,2	706,2	409,6	423,7	91,8	113,0
0,200	1179,3	925,1	649,7	557,9	127,1	162,4
0,300	1483,0	1108,7	868,6	706,2	162,4	197,7
0,400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 69. CBR vs. Densidad – Mezcla 1 (ARH)

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
14	56	60	1,782	56	1,785	95,7
5	56	52	1,789			
3	25	32	1,744	32	1,753	93,9
13	25	31	1,761			
12	12	7	1,650	8	1,643	88,1

2	12	8	1,636		
---	----	---	-------	--	--

Tabla 70. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 2 (ARH)

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
14	56	8408	4294	4114	2108	1,95	11,6	1,748	96,0
12	56	8196	4128	4068	2086	1,95	11,7	1,745	95,8
2	25	9182	5228	3954	2147	1,84	11,8	1,648	90,5
13	25	8023	4100	3923	2088	1,88	12,0	1,678	92,1
5	12	8889	5205	3684	2105	1,75	11,5	1,570	86,2
3	12	8854	5121	3733	2113	1,77	11,8	1,580	86,8

Tabla 71. Lecturas de dial – Mezcla 2 (ARH)

Molde	14	12	2	13	5	3
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	70,6	98,9	296,6	275,4	49,4	91,8
0,050	381,3	437,8	515,5	416,6	105,9	134,2
0,075	805,0	861,5	656,7	522,6	134,2	155,4
0,100	1129,9	1122,8	734,4	600,2	169,5	183,6
0,200	1751,3	1595,9	1002,8	918,0	261,3	261,3
0,300	2182,1	1864,3	1249,9	1193,4	360,1	353,1
0,400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 72. CBR vs. Densidad – Mezcla 2 (ARH)

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
-------	--------------	---------	-------------------------------	---------	-------------------------------	--

14	56	86	1,748	85	1,747	95,9
12	56	83	1,745			
2	25	54	1,648	50	1,663	91,3
13	25	45	1,678			
5	12	13	1,570	13	1,575	86,5
3	12	14	1,580			

Tabla 73. Compactación de probetas para CBR – Mezcla 3 (ARH)

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm ³)	Comp. Relativa (%)
12	56	8234	4128	4106	2086	1,97	12,1	1,755	96,3
2	56	9429	5228	4201	2147	1,96	12,1	1,745	95,8
3	25	8944	5121	3823	2113	1,81	11,7	1,619	88,9
14	25	8100	4294	3806	2108	1,81	11,3	1,622	89,1
13	12	7771	4100	3671	2088	1,76	11,6	1,575	86,5
5	12	8840	5205	3635	2105	1,73	11,5	1,549	85,0

Tabla 74. Lecturas de dial – Mezcla 3 (ARH)

Molde	12	2	3	14	13	5
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	367,2	218,9	155,4	127,1	70,6	56,5
0,050	656,7	508,4	218,9	218,9	105,9	120,0
0,075	826,2	663,8	261,3	268,3	127,1	169,5
0,100	918,0	755,6	310,7	310,7	148,3	197,7
0,200	1066,3	1172,2	487,3	416,6	218,9	317,8
0,300	1723,0	1546,5	656,7	508,4	289,5	409,6
0,400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 75. CBR vs. Densidad – Mezcla 3 (ARH)

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ÁRIDOS RECICLADOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN Y ÁRIDOS COMERCIALES PARA SU USO COMO MATERIAL GRANULAR EN SUB-BASE DE CARRETERAS

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	CBR (%)	Densidad (g/cm ³)	% Densidad máxima (g/cm ³)
12	56	68	1,755	63	1,750	96,1
2	56	58	1,745			
3	25	24	1,619	23	1,621	89,0
14	25	23	1,622			
13	12	11	1,575	13	1,562	85,7
5	12	16	1,549			