



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE
ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-
BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO
CHIMBOTE-SANTA-ANCASH”**

Tesis para optar el título profesional de

AUTORES :

BACH. K'ARLITA BEATRIZ CONTRERAS QUEZADA

BACH. VÍCTOR ALFONSO HERRERA LÁZARO

ASESOR :

ING. JULIO CESAR RIVASPLATA DIAZ

Nuevo Chimbote, Perú 2015



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuela, ejemplo de esfuerzo y perseverancia, quien fuera mi modelo a lo largo de mi vida. Y a mis padres por el apoyo incondicional.

K'arlita B. Contreras Quezada.

A mis padres por su confianza y darme todo su apoyo en todo momento, sus consejos, esfuerzo y cariño. A mis hermanos por siempre estar ahí en todo momento por lo que estaré eternamente agradecido.

Víctor A. Herrera Lázaro.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Índice

CAPITULO I	8
ASPECTOS GENERALES	8
1.1 ASPECTOS INFORMATIVOS:	8
1.1.1. TITULO:	8
1.1.2. PERSONAL INVESTIGADOR	8
1.1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN:	8
1.1.4. UBICACIÓN:	8
1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN	9
1.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.2.2 OBJETIVOS	12
1.2.3 HIPÓTESIS	13
1.2.4 VARIABLES	13
1.2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	13
1.2.6 ESTRATEGIA DE TRABAJO	14
CAPITULO II	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	15
2.2. ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	20
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN	21
2.4. AGREGADOS RECICLADOS	22
2.5. USO DEL AGREGADO RECICLADO OBTENIDO DEL CONCRETO	23
2.6. USO DE AR EN BASES GRANULARES Y EFECTOS SOBRE SUS PROPIEDADES	28
2.7. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DEL CONCRETO	36
2.8. CALIDAD DE LA BASE Y SUB BASE DE UN PAVIMENTO	47
CAPITULO III	52
MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	52



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

3.2.	UNIVERSO O POBLACIÓN.....	52
3.3.	DISEÑO Y CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA	52
3.4.	ESTRATEGIA DEL ESTUDIO	53
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	54
3.6.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	55
	CAPITULO IV	56
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1.	CARACTERIZACION DEL AGREGADO NATURAL	56
4.2.	CARACTERIZACION DE LOS AGREGADO RECICLADO.....	58
4.3.	ESTUDIO SOBRE COMBINACION DE AGREGADOS.....	59
	CAPITULO V	68
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.	CONCLUSIONES	68
5.2.	RECOMENDACIONES	70



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

RESUMEN

El desarrollo de la presente investigación se resume en el reaprovechamiento de los escombros derivados del proceso de construcción y demolición, que luego de ser debidamente clasificados y procesados para obtener un tamaño máximo nominal, son convertidos en agregados reciclados pudiendo ser utilizados en su totalidad o combinados con agregados naturales para formar parte del componente granular de un pavimento.

Mediante el uso de estos agregados reciclados se puede sustituir materiales con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte, anular sus riesgos y mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores característicos de materiales de elevadas prestaciones. Contrariamente a la solución tradicional que consistía en llevar ese material (pedazos de losas de concreto) a botaderos y transportar mejores materiales de préstamos (yacimientos y canteras), el empleo del agregado reciclado permite eliminar estas afecciones medioambientales, incluyendo la que supone el transporte de suelos naturales.

Para que los áridos reciclados se puedan emplear como material granular en sub bases y bases de carreteras, su granulometría y propiedades físicas y mecánicas deben estar comprendidas dentro de las normas fijadas por el MTC (Sección 303 y 305 – Requerimientos para Bases y Sub bases granulares).



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Abstract

The development of this research is summarized in the reuse of the rubble resulting from the process of construction and demolition, which after being properly classified and processed for maximum nominal size, are converted into recycled aggregates they can be used in full or in combination with natural aggregates to form part of the granular component of a pavement.

Using these recycled aggregates can substitute materials geotechnical problems and low bearing capacity, cancel their risks and improving their properties until reaching characteristic values of high performance materials. Contrary to the traditional solution was to take the material (pieces of concrete slabs) to dumps and transportation loans best materials (mines and quarries), the use of recycled aggregate can eliminate these environmental conditions, including representing transport natural soils.

For recycled aggregates can be used as granular material sub bases and road bases, its particle size and physical and mechanical properties must be included within the standards set by the MTC (Section 303 and 305 - Requirements for bases and Sub granular base).



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos de construcción, está íntimamente ligada a la actividad del sector de la construcción, como consecuencia de la demolición de edificaciones e infraestructuras que han quedado obsoletas, así como de la construcción de otras nuevas.

Una gran cantidad de agregado reciclado son producidos anualmente en los países desarrollados, aquí los depósitos de escombros han llegado a ser un serio problema social y ambiental para las ciudades debido a la necesidad de disponer terrenos para su vertimiento, como también el alto costo que implica su manejo.

La necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando, hoy en día, gran importancia ya que la cantidad de material obtenido por la demolición de estructuras para su mejoramiento o renovación es una gran cantidad de materia prima para ser reutilizada en las estructuras de pavimentación.

En todo el mundo, la industria de la construcción es la mayor consumidora de recursos naturales tales como los agregados naturales utilizados en la conformación de estructuras de pavimento como base y subbases. Anualmente se producen más agregado reciclado que lo que se consumen agregados naturales. Entonces, el alto consumo de materias primas, los intereses económicos, y las problemáticas resultantes de los severos impactos



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

generados por la acumulación de esos desechos, obligan a la búsqueda de usos alternativos en este campo.

Por otra parte de extracción de materiales naturales del entorno de nuestro ambiente, disminuyendo el impacto ambiental y el rápido agotamiento de las reservas naturales de los agregados provenientes de las canteras, sumando a esto la motivación que existe de preservar y proteger el medio ambiente de un inminente desequilibrio ecológico.

La importancia de la utilización de los agregados reciclados es la solución al problema de un exceso de material de escombros, sin olvidar la tendencia paralela de mejora de la calidad del producto final. La utilización de materiales de residuos de la construcción tiene que estar relacionado con la aplicación de sistemas de garantía de calidad con el fin de conseguir las propiedades de productos adecuados.

En este documento se presentan los resultados de la investigación sobre la alternativa del mejoramiento del agregado obtenido de escombros para su uso como componente granular en la estructura de un pavimento.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ASPECTOS INFORMATIVOS:

1.1.1. TITULO:

MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE
ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-
BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO
CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

1.1.2. PERSONAL INVESTIGADOR

Tesistas:

Bach. Herrera Lázaro Víctor Alfonso

Bach. Contreras Quezada K'arlita Beatriz

Asesor:

Ing. Julio Rivasplata Díaz

1.1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Según el fin que se persigue : Aplicada

Según el diseño : Experimental

1.1.4 UBICACIÓN:

Distrito : Nuevo Chimbote

Provincia : Santa

Departamento : Ancash



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

1.2 PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1.1 Planteamiento:

La densidad de población y el importante desarrollo económico producidos en los últimos años en el sector de la construcción conlleva, como efecto negativo para el medio ambiente, el notable aumento de la generación de residuos de la construcción y demolición y, por ello, la necesidad de habilitar mecanismos de gestión adecuados y capaces de dar una respuesta ante tal situación.

Dentro del importante volumen de residuos que se ha generado como consecuencia de lo acontecido, se destacan las roturas de concreto provenientes de pavimentos, obras de arte y edificaciones.

En Nuevo Chimbote, el volumen de residuos de construcción y demolición generados en la obra pública y privada, tiene como destino final los botaderos informales, alterando el paisaje y contaminando suelos de extensas áreas vírgenes, acuíferos y humedales.

Esto también representa una pérdida de recursos potenciales, pues el hecho de que se desechen como residuos ciertos elementos provenientes de las obras, que poseen aún capacidad de ser valorizados, además de que obliga a consumir recursos naturales, acentúa más el efecto negativo de la actividad constructora en la localidad.



Figura 01: Fotografías de escombros de la construcción y demolición dispuestos en vertedero informal de Campamento Atahualpa y Playa Anconcillo en Nuevo Chimbote

Frente a este hecho, la pregunta que ha motivado la investigación, ha sido: ¿Cómo mejorar el agregado obtenido de escombros de la construcción para emplearse en la conformación de bases y sub-bases de estructuras de pavimentos?

1.2.1.2 Justificación:

El reaprovechamiento de los áridos presentes en los concretos a reciclar o reutilizar se inserta dentro del área medioambiental orientada a la explotación de los recursos naturales protegiendo el ambiente y aplicando I+D (innovación más desarrollo).



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

La aplicación más común de los agregados reciclados en Europa y la mayoría de los estados de Norteamérica es en capas de base y sub bases granulares de nuevos pavimentos, con o sin aglomerante hidráulico, siendo su proceso de almacenamiento, manipulación y puesta en obra similar al de los agregados naturales.

Las bases granulares permiten la reutilización de los residuos de concreto próximos a la zona de trabajo y además, construir plataformas más resistentes, estables y por ende más duraderas.

Mediante el uso de estos agregados reciclados se puede sustituir materiales con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte, anular sus riesgos y mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores característicos de materiales de elevadas prestaciones. Contrariamente a la solución tradicional que consistía en llevar ese material (pedazos de losas de concreto) a botaderos y transportar mejores materiales de préstamos (yacimientos y canteras), las estabilizaciones con agregados reciclados del concreto permiten eliminar estas afecciones medioambientales, incluyendo la que supone el transporte de suelos naturales.

La importancia de esta investigación radica en que los recursos naturales son esenciales para mantener y mejorar la calidad de vida, el desarrollo económico y la equidad entre las generaciones actuales y futuras; su producción, uso, reutilización, reciclaje y disposición segura en el ambiente se integran en el concepto de desarrollo sustentable. Por tales motivos, es indispensable que la ciencia y la tecnología apunten a



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

maximizar los aportes sociales, económicos y ambientales que la actividad de la construcción pueda hacer para un desarrollo sustentable durante todo el ciclo de vida de los minerales (agregados naturales). A partir de tales consideraciones, se considera conveniente establecer las investigaciones de nuevos productos vinculados con los minerales industriales y materiales de construcción que ofrezcan distintas opciones comerciales para ampliar la oferta en el sector productivo.

1.2.2 OBJETIVOS

1.2.2.1 Objetivo General

- Mejorar el agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructuras de pavimentos.

1.2.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agregado obtenido de escombros de la construcción según Norma MTC para bases y sub-bases granulares.
- Obtener el CBR (Capacidad de soporte) del agregado reciclado y su combinación con agregados naturales.
- Comparar los resultados obtenidos con los requisitos de calidad para bases y sub bases granulares - Sección 402 y 403 de las EG-2013 del Manual de Carreteras.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

1.2.3 HIPÓTESIS

Si el mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases permite lograr capacidades resistentes y propiedades mecánicas similares a las convencionales, entonces se podrá proponerlos como alternativa de aplicación en obras de pavimentación.

1.2.4 VARIABLES

1.2.4.1 Dependientes

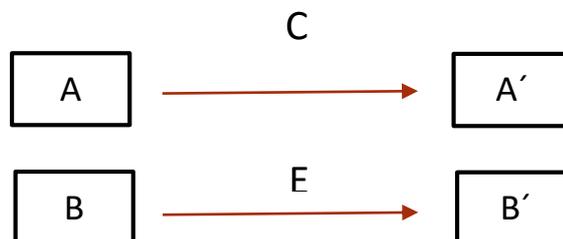
Base y Sub-base del pavimento

1.2.4.2 Independientes

Agregado reciclado obtenido de escombros de la construcción

1.2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño Experimental – Diseño Clásico



Dónde:

A: Es una muestra testigo con 100% de agregado reciclado y

B: Es una muestra combinada agregado reciclado – agregado natural en proporción determinada en laboratorio.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

1.2.6 ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.2.6.1 MÉTODO DE ESTUDIO

En la investigación se realizara una inspección de las zonas de extracción de la muestra, teniendo como ámbito poblacional el distrito de Nuevo Chimbote, posteriormente se determinara la muestra, obtención de la misma, procesamiento del material en laboratorio, obtención de datos y análisis e interpretación de resultados así como las conclusiones.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En la actualidad se reconoce que la utilización indiscriminada de recursos naturales constituye una causa del deterioro paulatino y progresivo del medio ambiente. Este comentario nos acerca a la línea temática de este trabajo que se orienta a establecer mecanismos de reutilización de los materiales de construcción principalmente provenientes del hormigón.

El reciclado y reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) se ha extendido prácticamente a todos los países desarrollados en los últimos años, fundándose tanto en razones de valorización comercial como medioambientales, unidos a una creciente concienciación ciudadana, respecto a la necesidad de ver la forma de reciclar los materiales que han cumplido su vida útil.

Existen grandes atractivos y ventajas para el empleo de los RCD sea como reemplazo parcial o total del agregado natural, fino o grueso, principalmente aquellos que provienen de la trituración de hormigones viejos, procedentes de diversas obras de infraestructura. Como fuera indicado entre los motivos que justifican el uso de RCD aparecen fundamentalmente la preservación del medio ambiente, la conservación de los recursos naturales, la reducción de los costos y el aprovechamiento racional de la energía.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Los primeros estudios documentados sobre la caracterización de materiales provenientes de la demolición de pavimentos, para su empleo como agregados en hormigón, datan de mediados de la década del '40 realizado por los europeos hecho que se encuentra directamente vinculado con el período de postguerra y cuya finalidad era la búsqueda de una aplicación para estos materiales de desecho. De este modo, ello permitiría reducir grandes cantidades de escombros o desechos originados por la destrucción de las ciudades, lo cual requeriría una menor necesidad de terrenos para su disposición, a la vez que disminuiría la demanda de materiales vírgenes necesarios para la reconstrucción de los centros urbanos (Nixon, 1978; Olorunsogo y Padayachee, 2002).

Ya en 2002 se daba cuenta que la industria del concreto empleaba a nivel mundial aproximadamente 10 billones de toneladas de arena y roca natural, generando más de 1 billón de toneladas en RCD cada año (Mehta, 2002). En tal sentido, en Estados Unidos se estimaba que dichos residuos alcanzan valores del orden de 250 a 300 millones de toneladas/año. Por su parte, a comienzos de este siglo en Japón se generaban 85 millones de toneladas/año de residuos de construcción, de los cuales un 40 % correspondían a desechos de concreto (Kasai, 2004). En la Comunidad Europea se estimaba que la generación de RCD era del orden de los 200 a 300 millones de toneladas anuales, lo cual equivale entre 0,5 a 1 tonelada per cápita por año. Asimismo, aproximadamente el 28 % de estos desechos fueron reciclados hacia



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

finés de la década del '90 (Lauritzen, 2004). Considerando datos del 2005 surge que en el caso de Alemania, los RCD ascienden a 88,6 millones de toneladas anuales de los cuales el 69 % es reciclado y utilizado para la elaboración de materiales de construcción, y de ello, sólo 1,9 millones de toneladas (aproximadamente 3,1 %) es empleado como agregado para hormigón [Müller, 2005]. Holanda genera anualmente 20 millones de toneladas/año de RCD, equivalente a 1,25 toneladas por habitante, de los cuales más del 95 % es reutilizado, mayormente para sub bases de caminos y sólo un 3,3 % en la elaboración de nuevos hormigones (Janssen y Put, 2005).

En España la generación de residuos es de 38,5 millones de toneladas, y un 20 % constituye desechos de hormigón [Vázquez, 2005]. Por otra parte en Israel la cantidad de residuos de construcción es del orden de 7,5 millones de toneladas anuales, equivalente a 1,1 tonelada per cápita por año; siendo la mayoría de ellos depositados como relleno en sitios tanto legales como ilegales. (Katz et al, 2005). Respecto a datos de producción de hormigón en Argentina se estima que está por encima de los 4 millones de metros cúbicos anuales pero no aparecen mayores ejemplos sobre el uso de hormigón reciclado.

Otro de los beneficios es el relacionado con el costo del transporte; en países como la Argentina con una gran extensión territorial y grandes zonas de llanura, el traslado de los agregados naturales desde los



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

yacimientos o canteras hasta los centros urbanos posee un impacto importante en el costo influyendo directamente en el precio de la construcción. Lo contrario sucedería con el uso de agregados reciclados, ya que el lugar de generación es el mismo en el cual se dan las posibilidades para su empleo.

La importancia e interés en el uso de RCD se refleja en muchos países como Japón, EE.UU., Bélgica, Holanda, Reino Unido, entre otros, que han elaborado normas, reglamentos o recomendaciones para tal fin. Los RCD pueden emplearse como agregados para la producción de bases y subbases granulares de camino o en hormigones estructurales. En algunos casos, dichos documentos datan de aproximadamente dos décadas atrás [Grúbl y Rühl;1998; Hansen, 1986; RILEM, 1994; Balázs et al, 2008; Kasai, 1994; Vyncke y Rousseau, 1994; Janssen y Put, 2005; Poon, 2005].

Un claro ejemplo a nivel internacional lo constituye España, quien en el año 2001 comenzó a llevar a cabo el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD 2001-2006), cuyo fin es alcanzar un porcentaje de empleo del material reciclado en la elaboración de hormigones cercano al 60 %. Actualmente, con más de 200 plantas recicladoras se encuentra en desarrollo el II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD 2007-2015), el cual forma parte del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR 2008-2015), dentro del cual algunos de los objetivos planteados incluyen la reducción de los



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

RCD, la clausura de vertederos inadecuados, la recolección controlada y correcta gestión de los RCD en un 95 %, y el reciclaje del 40 % de los RCD a partir de 2011. Debe mencionarse que España ya posee una recomendación para el uso de los agregados gruesos reciclados en hormigones con requerimientos resistentes de tipo estructural, admitiendo su empleo hasta un máximo de 20 % en reemplazo del agregado grueso natural.

En Argentina, por otro lado, no se da la misma situación ya que se carece de algún tipo de normativa o recomendación para el empleo de materiales reciclados provenientes de desechos de la construcción. No obstante laboratorios como el LEMIT y algunas universidades vienen investigando el uso del material reciclado en hormigones con niveles de resistencia y durabilidad similares a los exigidos para los hormigones con agregados naturales.

Dentro de este panorama se propuso evaluar un caso concreto de interés para la provincia de Buenos Aires y en particular para la Dirección de Vialidad, que es el reciclado de pavimentos en la zona del Gran La Plata. Este caso tiene la potencialidad de aplicarse como antecedente a otros conglomerados urbanos.



2.2. ORIGEN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Estos residuos pueden estar compuestos de una gran cantidad de materiales según el tipo de proyecto (Mercante, 2007, p. 23), y de forma general en el sector de la construcción, se establecen los siguientes materiales como parte del conjunto de RCD's: (Escandon, 2011, p. 9).

- Mezclas asfálticas - Ladrillo
- Concreto sin refuerzo (Acero)
- Restos de concreto mezclado
- Mezclas de cemento y cal
- Tejas cerámicas - Vidrios
- Tierra limpia
- Porcelanas (incluye artefactos sanitarios)
- Metales (acero, bronce, cobre y aluminio)
- Maderas
- Plásticos
- Aislantes (poli estireno expandido, lana de vidrio, membranas)
- Revestimientos
- Papel y cartón
- Residuos especiales
 - o Residuos de pintura y adhesivos
 - o Hidrocarburos como aceites, grasas y fluidos lubricantes
 - o Residuos puntuales como baterías, bombillos y fluorescentes



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

- Componentes inseparables como madera tratada y alfombras

Los RCD's, pueden ser catalogados como no peligrosos o no especiales y especiales, con especiales se refiere a todo residuo y material potencialmente peligroso ya sea inflamable, tóxico, corrosivo, irritante o cancerígeno, que requiere de un procedimiento riguroso para ser dispuesto y almacenado. Los no especiales, no peligrosos, comprenden todo tipo de material que puede ser tratado y almacenado comúnmente y que posee características que permiten su reciclaje por medio de procesos industriales (Mercante, 2007, p. 24).

2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

Esta clasificación atiende a la resolución CONAMA 307 de la ABNT (Asociación Brasileña de Normas Técnicas) incluida en la NBR (Norma Brasileña de Reciclaje) 15116. Los agregados obtenidos del reciclaje de la construcción civil pueden clasificarse en:

Clase A; Residuos reutilizables o reciclables tales como:

- residuos de construcción , demolición, reformas y reparaciones de pavimentación y otras obras de infraestructura , incluyendo el suelo de la excavación ;
- residuos de construcción , demolición, reformas y reparaciones de edificios : componentes cerámicos



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

(ladrillos , bloques, tejas, tablas del piso , etc.) , mortero y hormigón ;

- residuos y / o demolición de Piezas de hormigón (bloques, tubos, bordillos y otros) producidos en obras de construcción del proceso de preparación.

Clase B; Son los residuos para los que las tecnologías económicamente viables o aplicaciones no están diseñadas para permitir el reciclado o recuperación, tales como productos del yeso.

Clase D; Son residuos peligrosos desde el proceso de construcción (pinturas, disolventes, aceites, etc.) o los contaminados procedentes de demoliciones, remodelaciones y reparaciones (clínicas de radiología, instalaciones industriales y otros) clasificados como clase I NBR 10004.

2.4. AGREGADOS RECICLADOS

En un contexto general, entiende por árido o agregado reciclado (AR) aquél “árido resultante del procesamiento de materiales inorgánicos utilizados previamente en la construcción”. La materia prima para su obtención, son pues, los materiales pétreos generados como residuo durante los procesos de construcción y demolición. Los residuos de hormigón de cemento Portland y áridos naturales, machacados, cribados y procesados en plantas de reciclado dan lugar al material secundario



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

“árido reciclado de hormigón.” Este material tiene su origen de un solo material, el hormigón. El árido reciclado obtenido no se lo puede considerar un material homogéneo, ya que la diferencia de su composición estará en función principalmente del mortero presente en el residuo. También hay que considerar la presencia de subcomponentes, que pueden admitirse hasta un cierto límite, siempre que sean de naturaleza pétreo (Robas, 2009).

Los otros tipos de áridos reciclados para Etxeberria et al, (2003) son:
Árido reciclado cerámico: Árido que se obtiene por procesamiento de material predominantemente cerámico. El 85 % de este árido debe tener una densidad seca superior a 1600 kg/m³ en la norma holandesa, para evitar materiales excesivamente porosos y ligeros.

Áridos reciclados mixtos: Definido en la norma holandesa como un árido que deberá contener un porcentaje mayor del 50 % de hormigón con una densidad seca superior a 2100 kg/m³ y no más del 50 % de materiales pétreos reciclados de distinta naturaleza que el hormigón, incluyendo los cerámicos con una densidad seca mayor de 1600 kg/m³ provocando una disminución de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad del hormigón.

2.5. USO DEL AGREGADO RECICLADO OBTENIDO DEL CONCRETO

Los antecedentes en el uso de hormigón triturado como agregado para la elaboración de nuevos hormigones reciclados, bases y sub bases



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

granulares se remontan a varias décadas atrás, generalmente asociados a la destrucción de grandes ciudades por la Segunda Guerra Mundial. La utilización de grandes áreas de terrenos destinados para depositar los escombros y el aumento en la demanda de materiales vírgenes para la reconstrucción de las grandes ciudades, motivaron el estudio de las propiedades de dicho material con el fin de emplearlo en la elaboración de nuevos materiales fundamentalmente en reemplazo del agregado natural en hormigones. Cabe citar los estudios de la Building Contractors Society (Japón 1978) y el reciclado de pavimentos en USA; información sobre procesos de obtención y propiedades que fue recopilada por el Comité del ACI (2002). En Europa se propicia su uso desde hace más de una década y se han desarrollado normativas y recomendaciones al respecto [RILEM, 1994].

Los áridos procedentes de pavimentos de hormigón suelen presentar una mayor homogeneidad, menor presencia de posibles productos contaminantes en origen, requieren en muchos casos equipos y tecnologías específicas, y la incidencia del transporte en el costo de la valorización y puesta en obra de los áridos reciclados en la misma carretera es menor. El tamaño de los escombros es muy heterogéneo y depende del tipo de técnica de demolición utilizada.

La composición química de los escombros de hormigón depende de la composición del árido utilizado en su producción, puesto que más del 75 % del total del hormigón lo constituye el árido, siendo el resto de los



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

componentes de hidratación del cemento, silicatos y aluminatos cálcicos hidratados o hidróxidos de calcio.

La aplicación de áridos reciclados cada vez es más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos variados como son la construcción de explanadas, pavimentos, o en la fabricación de hormigón. El destino de estos materiales reciclados dependerá de la naturaleza y composición mayoritaria de los residuos. Así, mientras para las explanaciones se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezcla de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigones, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algún caso de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos.

Cada una de estas aplicaciones obligó a fijar distintos niveles de experiencia en las propiedades del árido reciclado [CEDEX, 2009].

Los agregados reciclados procedentes de hormigón para obras de tierras y terraplenes deben tenerse en cuenta la homogeneidad del residuo así como la ausencia de armaduras y contaminantes. Según la Norma Francesa NF - P 11 - 300, estos materiales son adscritos a la familia F7 de subproductos industriales y se recomiendan emplearlos en terraplenes y explanadas. Algunas administraciones norteamericanas de carreteras permiten el empleo de pedazos de hormigón, siempre y cuando no superen el tamaño máximo (150 -200 mm).



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

La mayor parte de los países que permiten la utilización de áridos reciclados de hormigón en carreteras, exigen a este material las mismas especificaciones que presenta el árido natural, imponiendo además un contenido mínimo de hormigón y máximo de impurezas (materia orgánica, yeso, etc.). Cuando se utilizan en capas granulares sin tratar, inicialmente la capacidad soporte puede ser menor en comparación con las capas granulares convencionales, debido a la mayor dificultad para su compactación, pero a lo largo del tiempo se suele cementar, igualando o superando la capacidad soporte de otros materiales granulares y disminuyendo su permeabilidad. En Francia, por ejemplo, el 75 - 80 % de la producción de hormigón triturado se emplea en capas granulares [CEDEX, 2009].

Generalmente las principales aplicaciones de los áridos procedentes de hormigón triturado son: árido grueso para hormigones, árido fino para morteros o para elaboración de cementos y la combinación de estas dos fracciones para sub bases granulares. En general, los áridos gruesos reciclados procedentes de hormigón, pueden ser utilizados tanto para hormigón en masa como para hormigón armado, manteniéndose los criterios de dosificación de los hormigones convencionales. La normativa española como la alemana y las Recomendaciones RILEM solo permiten el uso hasta un 20 % de sustitución de árido natural por áridos reciclados proveniente de la trituración de hormigones.

Las principales propiedades del hormigón reciclado que se ven afectadas son la demanda de agua del hormigón fresco reciclado que es



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

mayor que la del hormigón hecho con agregados naturales y el consumo de cemento que para la misma resistencia es algo mayor. La densidad del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón original; con el reemplazo del 100 % del árido grueso, se puede obtener una densidad entre un 10 - 20 % menor (Vries, 1993).

Las alternativas para el reciclado de hormigón provenientes del pavimento no se limitan al caso bien demostrado de la factibilidad de obtención de agregados gruesos para realizar nuevos hormigones. Existen también muchos ejemplos de incorporación de materiales reciclados en pavimentos tanto rígidos como flexibles y capas constituyentes del paquete estructural. En Italia la reutilización de materiales marginales es práctica corriente en la construcción de pavimentos para aeropuertos y caminos. Muchas investigaciones han confirmado la posibilidad de usar AR para estabilizar bases ligadas o no con cemento, para estabilizados granulares de uso como sub bases y bases de pavimentos flexibles (Pasetto, 2000). Si bien, en general, se ha encontrado que la calidad del material a reciclar es inferior a la calidad de los materiales vírgenes, se ha preferido por ser más barato y ambientalmente amigable.

A nivel latinoamericano, se han realizado varios trabajos para evaluar el efecto de la incorporación de materiales producto de trituración de hormigón dentro de las diferentes capas estructurales de un pavimento. Cerutti (2009) determina parámetros mecánicos de mezclas asfálticas y estabilizadas con importantes contenidos de agregados reciclados,



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

concluye que las mismas presentan valores de módulo de rigidez y Estabilidad Marshall suficientes para formar parte de capas de sub bases y bases o incluso carpetas de rodamiento para la red terciaria. Appolloni y Morano (2009) utilizan RCD en mezclas asfálticas en caliente y en frío concluyendo que su uso es técnicamente factible para la construcción de bases asfálticas.

Hace pocos años en una obra de pavimentación en el acceso al puerto de Quesquén, en la ciudad de Necochea, provincia de Buenos Aires, surgió la alternativa de obtener agregados a partir de las losas de hormigón que habían sido removidas, con el consiguiente impacto ambiental positivo. Se realizó el ajuste en laboratorio para el diseño y caracterización de hormigones con agregados reciclados en base a los requisitos establecidos por la Dirección de Vialidad de Buenos Aires (DVBA) y luego su posterior aplicación en obra. Se realizaron hormigones reemplazando un 50 y 100 % del agregado grueso natural por agregado reciclado alcanzando resistencias del orden de 30 MPa a la edad de 28 días (Zerbino et al, 2006).

2.6. USO DE AR EN BASES GRANULARES Y EFECTOS SOBRE SUS PROPIEDADES

La aplicación más común de los agregados reciclados en Europa y la mayoría de los estados de Norteamérica es en capas de base y sub bases granulares de nuevos pavimentos, con o sin



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

aglomerante hidráulico, siendo su proceso de almacenamiento, manipulación y puesta en obra similar al de los agregados naturales.

Las bases granulares permiten la reutilización de los residuos de hormigón próximos a la zona de trabajo y además, construir plataformas más resistentes, estables y por ende más duraderas.

Mediante el uso de estos agregados reciclados se pueden sustituir materiales con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte, anular sus riesgos y mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores característicos de materiales de elevadas prestaciones. Contrariamente a la solución tradicional que consistía en llevar ese material (pedazos de losas hormigón) a botaderos y transportar mejores materiales de préstamos (yacimientos y canteras), las estabilizaciones con agregados reciclados del hormigón permiten eliminar estas afecciones medioambientales, incluyendo la que supone el transporte de suelos naturales. Para que los áridos reciclados se puedan emplear como material granular en sub bases y bases de carreteras, su granulometría debe estar comprendida en alguno de los husos granulométricos fijados por cualquier normativa de cada país. Los áridos reciclados provenientes de la construcción por lo general cumplen con los husos granulométricos y con diversas exigencias como el coeficiente de forma, partículas trituradas, equivalente de arena, materias orgánicas y cantidad de azufre. En referencia al porcentaje de desgaste Los Ángeles depende principalmente de la abrasión sufrida por los áridos naturales y el hormigón. Estudios recientes han puesto de manifiesto que en el ensayo



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Los Ángeles todo el mortero adherido a los áridos reciclados de hormigón se pulveriza, este efecto puede ser atribuible a la naturaleza porosa, grietas y menor resistencia del mortero adherido y es un limitante importante para el uso como material granular. La mayoría de normativas lo sugieren para tráficos menores de 200 vehículos pesados/día.

Algunos autores también identifican que el contenido de compuestos de azufre totales es una propiedad crítica de los áridos reciclados. Sin embargo, el contenido de compuestos de azufre totales de los AR de hormigón (fracción 0/2 mm) está por debajo del límite (Vegas et al, 2008).

Sherwood (2001) propone que en carreteras de bajo costo y volumen de tráfico, la reducción razonada de los requisitos de las normas nacionales podría aumentar el uso de materiales secundarios. Así, aunque los áridos reciclados mixtos no cumplan con el porcentaje de desgaste Los Ángeles y el contenido de compuestos de azufre totales por un estrecho margen, podrían ser utilizados como sub base en la construcción de caminos rurales.

Debido a su angulosidad y la posibilidad de un cierto nivel de cementación, el agregado reciclado puede servir muy bien en una aplicación de base de graduación densa [ACPA 2009]. Un informe reciente de la NCHRP (2008) señala que sus propiedades se ven afectadas tanto en base como en sub bases granulares elaborada con agregados reciclados. Las propiedades afectadas incluyen la resistencia



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

al corte, rigidez, resistencia, durabilidad, susceptibilidad a las heladas, y permeabilidad. Sin embargo, el principal indicador de desempeño de una capa estabilizada es la resistencia al corte y la rigidez según lo determinado por la prueba de módulo resiliente. Con respecto a estas propiedades, el AR posee un buen desempeño, a pesar que la rigidez no fue tan alta en comparación con las capas de base construida con agregados naturales o una mezcla de AR con AN.

La facilidad de las operaciones de trituración para producir agregados de mayor tamaño angular permitiendo que una capa tenga buenas condiciones estructurales de apoyo cuando el AR se utiliza en una capa de base drenable.

La preocupación con el uso de AR en un sistema graduado abierto es el contenido de polvo, los lixiviados y los problemas de alcalinidad. Una forma de tratar estos problemas es a través de un lavado del agregado reciclado antes de la colocación para reducir las partículas finas que contribuyen significativamente a aumentar el pH y lixiviados sedimentados que puedan obstruir los colectores en el sub-sistemas de drenaje superficial [Bruinsma,1995]. Las bases granulares con áridos reciclados puede aumentar el nivel de pH de la humedad del subsuelo que se esté en contacto con los sistemas de drenaje y aguas subterráneas. Este efecto se reduce con el tiempo como valores de pH estabilizado a niveles normales.

En cuanto a la relación entre Humedad y Densidad, algunos autores señalan que el árido natural tiene una mayor densidad seca y menor



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

absorción de agua. Los áridos reciclados de hormigón tienen una menor densidad seca y mayor absorción de agua. En los áridos reciclados de hormigón y en los áridos naturales, la densidad de partículas tras secado en estufa, la fracción gruesa es mayor que la obtenida en la fracción fina. En los áridos reciclados de hormigón y en el árido natural la absorción de agua de la fracción fina es superior a la de la fracción gruesa, superando el árido fino reciclado al natural (Jiménez et al, 2010).

La prenormativa del Gobierno Vasco (2011) afirma que los áridos reciclados presentan densidades máximas y humedades óptimas de compactación similares a la de suelos naturales y otro tipo de material granular.

Se observa un incremento de la humedad óptima cuanto mayor contenido de material cerámico ofrezca el árido reciclado (Ver figura 2.4). Asimismo, la combinación de hormigón y cerámico parece 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 resultados obtenidos manifiestan tendencias similares a los obtenidos por Poon de la Universidad de Hong Kong, tal y como se ilustra en la figura 2.

En cuanto al ensayo de Proctor modificado, algunos estudios expresan que el árido natural tiene una mayor densidad seca máxima y menor contenido de humedad óptima que los áridos reciclados de hormigón. Las capas granulares elaboradas con áridos naturales tiene un mayor



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

valor de CBR que el realizado con áridos reciclados de hormigón. Basándose en el alto valor del CBR y en la ausencia de hinchamiento en los áridos reciclados de hormigón se puede esperar que posea una aceptable capacidad de carga y estabilidad estructural (Jiménez et al, 2010)

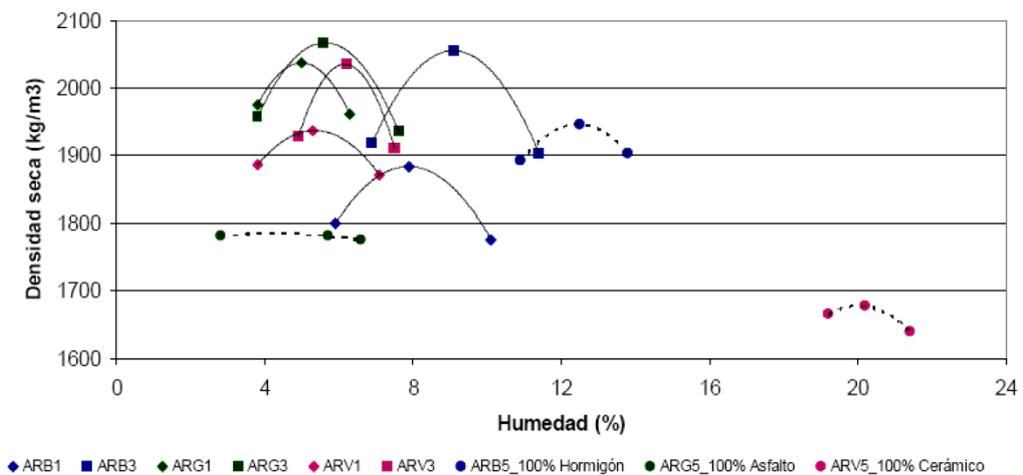


Figura 02: Humedad Óptima y Densidad máxima de compactación (Poon et al, 2006).

Otras investigaciones explican una mayor capacidad portante, medida a partir de su índice CBR, asociada a la presencia conjunta de hormigón y material cerámico en el árido reciclado. El incremento de resistencia mecánica se puede atribuir, bien a reacciones puzolánicas entre los finos y la portlandita presente en el hormigón, en presencia de agua, bien a cierta hidraulicidad remanente del cemento contenido en los áridos reciclados de hormigón, constatando la mejora de capacidad portante a lo largo del tiempo e inclusive superando la capacidad portante de muestras con áridos naturales. (Pre Normativa del Gobierno Vasco, 2011)



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

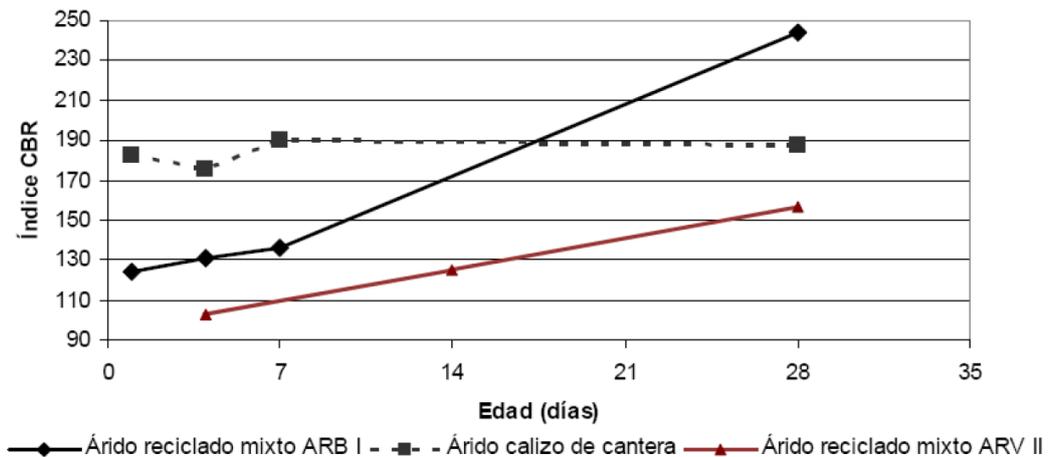


Figura 03: Evolución de la capacidad portante a lo largo del tiempo: Áridos reciclados (ARB-I y ARV-II) y árido calizo (Flor, 2012).

A entender de los resultados de la figura 3, el índice CBR a 14 días resulta ser entre un 20 % y 30 % superior al obtenido a 4 días para las muestras de árido reciclado mixto. Asimismo, el índice CBR a 28 días resulta ser superior en un 50 % al obtenido a 4 días.

Otros autores han confirmado el crecimiento de su rigidez con el tiempo (Arm, 2001) por medio de estudios realizados durante 2 años para evaluar la rigidez de las capas de sub bases granulares elaboradas con RCD. Se realizaron estudios en laboratorio como en campo (por medio del FWD) confirmando que existe un claro aumento con el tiempo en el módulo resiliente.

Dicho aumento es el más grande en los primeros meses y luego disminuye, esta crecida en la rigidez es debido a la propiedad de auto-cementación que posee el árido reciclado. Las mediciones de campo muestran un crecimiento más considerable en la rigidez que en las pruebas hechas en laboratorio, duplicando su valor dos años después de



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

la construcción. Las capas de sub bases elaboradas con áridos naturales, en su mayoría granito triturado no muestran ningún crecimiento en la rigidez, ni en el laboratorio ni en el campo.

La auto-cementación que proporciona el árido reciclado en capas granulares originó un estudio más profundo sobre el agregado proveniente del RCD (Poon et al, 2006). Ellos indican que es factible el uso tanto del agregado grueso como fino del reciclado para capas granulares. Estos investigadores pensaban que el árido fino reciclado (< 5 mm) tenían más probabilidades de ser la principal causa de las propiedades de auto-cementación del AFR y para su estudio este agregado fue sometido a diferentes pruebas (difracción de rayos X, medición del pH, resistencia a la compresión y la permeabilidad de los diversos tamaños de la fracción fina: < 0,15 y 0,3-0,6 mm conocida como Fracciones activas). En el ensayo de rayos X encontró presencia de silicato dicálcico y silicato tricálcicos) en las fracciones finas < 0,15 mm. Los resultados obtenidos demostraron que las causas de las propiedades de autocementación se atribuyen a las propiedades intrínsecas del AFR, que podrían verse afectadas por la edad, grado y cantidad de los materiales cementicios utilizados en el hormigón original de la cual los AR fueron obtenidos. La edad, el grado y la cantidad de cemento sería el factor decisivo de la cuantía de cemento sin hidratar y de la presencia de silicato dicálcico en el mortero adherido del agregado fino reciclado. También concluye que la capacidad portante que ofrece los áridos reciclados en sub bases granulares es inferior que la



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

capacidad portante que ofrece los AN, pero al pasar los meses esta capacidad portante de las capas elaboradas con AR aumenta considerablemente por la auto-cementación como aspecto positivo, pero como aspecto negativo consideran que esta propiedad de auto-cementación debe tener un límite ya que la capa granular tendería a tener una mayor pérdida de permeabilidad solo si se pretende la realización de una capa drenante.

2.7. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS RECICLADOS PROVENIENTES DEL CONCRETO

Composición y características visuales

El aspecto visual que presenta los agregados reciclados es diferente al agregado natural debido a la presencia de mortero de cemento adherido al agregado natural. La cantidad de mortero adherido hace que los agregados reciclados presenten diferentes propiedades a los agregados naturales, que se refleja en un aumento de absorción, una menor densidad, mayor desgaste que incide en la dureza del agregado. Los agregados reciclados obtenidos de la trituración tienen aspecto visual diferente ya que se puede encontrar agregado natural sin mortero, un agregado que esté conformado de una parte de mortero y otra parte de roca, y un tercer agregado que sólo esté compuesto de mortero, tal como se observa en la figura 2.10. Las cantidades relativas de cada una de ellos estará en función de las características del hormigón que se

tritura, como resistencia, tamaño máximo del agregado, características de la roca natural, etc., y del método de procesamiento utilizado para la obtención de los agregados reciclados, incluyendo el tipo y la cantidad de trituradoras empleadas (Hansen y Narud, 1983; Limbachiya et al, 2000; Sánchez de Juan y Alejos Gutiérrez, 2009).



Figura 04: Aspecto de los agregados gruesos reciclados.

La cantidad de mortero adherido estará en función de las trituraciones sucesivas que tenga el objeto a demoler.

TABLA 1

Mortero adherido a los áridos según varios autores.

Referencia	% Mortero Adherido	Tamaño árido
Ravindrarah 87	54 % (a/c = 0,51)	5/37,5 mm
Ravindrarah 88	20 %	20/30 mm
	45 - 65 %	< 0,30 mm
Yagishita	40,2 % (a/c = 0,45)	10/20 mm
Barra M. 1966	51,7 %	12/20 mm
	52,9 %	6/12 mm
Nagataki 2000	52,3 %	AG
Vázquez E. 2002	40,5 %	10/20 mm
	49,5 %	5/10 mm
Sánchez M. 2005	30,8 %	4/16 mm

Fuente: Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en obras viales. Gino F. Flor Chavez.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Granulometría

La granulometría del AGR depende directamente del tipo de trituración al que es sometido, de ahí se deduce que la composición granulométrica de los mismos resulta independiente del nivel resistente del hormigón a partir del cual son obtenidos [Hansen y Narud, 1983; Sri Ravindrarajah y Tam, 1985]. Las trituradoras de impacto producen mayor cantidad de agregados finos ya que puede generar partículas de menor tamaño mientras que las trituradoras de cono o de mandíbulas dan una cantidad de finos inferior. Debido a la variedad de tamaño que se obtiene en la trituración es necesario separar en fracciones gruesa y fina.

La granulometría obtenida varía por los diferentes métodos de trituración y dentro de los límites establecidos para los AGN [Hansen, 1986]. Otros autores llegaron a las mismas conclusiones luego de triturar hormigones a distintas edades comprendidas entre 1 y 28 días [Katz, 2003; Buttler, 2003].

Con relación al AFR, sus características resultan muy semejantes a las de una arena de trituración, con partículas angulosas y un elevado contenido de polvo. En consecuencia, su módulo de finura resulta muy superior al de la mayoría de los agregados naturales de río, siendo incluso mayor que el valor máximo admitido para la elaboración de hormigones estructurales [Hansen y Narud, 1983; Buyle-Bodin y Hadjieva-Zaharieva, 2002; Khatib, 2005], ocasionando que la granulometría del AFR, al igual que sucede con las arenas de trituración,



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

se encuentre en su mayor parte fuera de los límites establecidos por las normas para arenas naturales.

Si bien existen estudios que evalúan las propiedades del AFR y su influencia en la elaboración de hormigones [Khatib, 2005; Evangelista y Brito, 2007], en general se desaconseja su utilización para la elaboración de hormigones estructurales [Hansen, 1986; Grübl y Rühl, 1998; Buyle-Bodin y Hadjieva-Zaharieva, 2002]. En cuanto a la cantidad de AGR disponible del total de agregados obtenidos en la trituración, algunas investigaciones antiguas concluyen que la cantidad de material fino reciclado ($< 4,75$ mm) es mayor a medida que la resistencia del hormigón que se tritura disminuye [Sri Ravindrarajah y Tam, 1985], debido al menor contenido de cemento y mayor cuantía de arena que presentan los hormigones más pobres; pero estudios más recientes confirman que la fracción fina generada por la trituración está comprendida entre 25 y 30 %, independientemente de la resistencia del hormigón [Buttler, 2003].

La mayoría de normas que rigen en países desarrollados para los áridos reciclados establecen la limitación del AFR para la preparación de hormigones en porcentajes menores al 5 % si el árido reciclado proviene del hormigón.

Densidad

La capa de mortero adherido en el árido reciclado es el principal causante de la variación de las características físicas del agregado. Una



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

de las características físicas que disminuye con relación a los áridos naturales es su densidad debido a la porosidad que presentan dichos agregados. La fracción fina obtenida es la que menor densidad tiene debido a que presentan una mayor cantidad de mortero después de su etapa de trituración.

Muchas investigaciones concluyen que la calidad de los hormigones originales no tiene una marcada influencia sobre la densidad de los agregados reciclados generados a partir de su trituración [Hansen y Narud, 1983; Sri Ravindrarajah y Tam, 1985; Katz, 2003]. Sin embargo, se ha observado una menor densidad en los agregados reciclados provenientes de un hormigón de pavimento de baja calidad [Tavakoli y Soroushian, 1996], variando sus valores entre un 5 y 15 %.

La tabla 2.4 expone valores de densidades tanto del AGN como del AGR de acuerdo a su tamaño, tipo de agregado, relación a/c o resistencia a la compresión del hormigón del cual se obtuvo el AGR.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

TABLA 2

Densidad del AGR según varios autores

Referencia	Fracción (mm)	Densidad AGR	Densidad AGN	Tipo de AGN	Observaciones
Hansen y Narud, 1963	4-8	2,34; 2,35; 2,34	2,50	Calizo	Razón a/c: 0,40; 0,70; 1,20' respectivamente
	8-16	2,45; 2,44; 2,42	2,62		
	16-32,0	2,48; 2,49; 2,48	2,61		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	2,44; 2,46; 2,44	2,67	Granítico	Razón a/c: 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah et al, 1988	4,75-9,5	2,54	2,67	Granítico	f'c: 60 MPa.
	9,5-13,2	2,52			
	13,2-19,0	2,46			
	>19,9	2,47			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	2,41; 2,26	2,63	Calizo	f'c: 50 y 44 MPa, Respectivamente
	4,75-25,0	2,45; 2,37	2,69		
Poon et al, 2004	4,75-10,0	2,33	2,62	Granítico	
	10,0-20,0	2,37	2,62		
Machado y Latterza, 1997	4,75-9,5	2,45	2,88	Basalto	f'c: 22 MPa; a/c: 0,68
Hernández y Fomasier, 2005	4,75-20,0	2,49	2,72	Granítico	Laboratorio Planta
	6-20,0	2,41	2,72	Granítico	
Cuneo Simian y Duran, 1995	4,75-19,0	2,55	2,75	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	2,45	2,65	Silíceo trit	
	4,75-19,0	2,66	2,98	Basalto	
Katz, 2003	2,36-9,5	2,35; 2,38; 2,32			AGR a edades 13 y 28 días
	9,5-25,0	2,59; 2,60; 2,55			

Fuente: Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en obras viales. Gino F. Flor Chavez.

Contrariamente a lo señalado anteriormente, en un estudio reciente se indica una disminución de la densidad de los AGR a medida que se incrementa la resistencia del hormigón de origen [Padmini et al, 2009], debido a que los agregados que provienen de hormigones con menor resistencia presentan menor contenido de mortero que los originados de



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

hormigones con resistencias más elevadas, dando como resultado una mayor densidad en el primero de los casos.

En conclusión se puede decir que las características de los AN dependen principalmente de la característica de la roca, mientras que los AR dependerán tanto de la característica de la roca como del mortero adherido al árido. La diferencia entre las densidades del AN con respecto al AR puede variar entre 5 a 15%.

Absorción de agua

La absorción de los AGR es muy superior a la absorción del AGN debido al contenido de mortero que presenta dicho árido. En áridos naturales los valores de la absorción oscilan entre un 0 % y un 4 %, mientras que los diferentes estudios afirman que la absorción de los áridos reciclados va desde 3,5 % hasta un 13 %.

La mayoría de autores confirman la influencia del tamaño del árido reciclado sobre la absorción, ya que en fracciones más finas la absorción es mayor debido a la cantidad de mortero adherido en ellas es superior que en las fracciones más gruesas (Ver tabla 2.5).

Las absorciones de los AGR para una misma fracción de agregado, resultan muy similares entre sí independientemente de la relación a/c con la que se preparó el hormigón. Al igual que en el caso de la densidad, este comportamiento es atribuido al mortero del hormigón original presente en las partículas que componen el agregado reciclado [Hansen y Narud, 1983; Sri Ravindrarajah y Tam, 1985].



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Sin embargo, Tavakoli y Soroushian (1996) indican mayor absorción en los agregados reciclados obtenidos de hormigones de inferior calidad, hecho que se produjo para dos tamaños máximos diferentes de dicho agregado.

Pero una investigación más reciente realizada por Padmini et al (2009) indican mayores absorciones en los AGR al incrementarse la resistencia de los hormigones de origen, verificado para tres tamaños máximos diferentes, hecho atribuido a un menor contenido de mortero de los AGR que provienen de los hormigones con menor resistencia debido a su eliminación durante el proceso de triturado.

En la tabla 3 puede observarse que los AGR presentan absorciones variables entre 3,5 y 9 %, las cuales resultan muy superiores a las obtenidas con AGN, que en general son inferiores al 2 %.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

TABLA 3

Absorción en AR en comparación con AN según varios autores.

Referencia	Fracción (mm)	Absorción AGR	Absorción AGN	Tipo de AGN	Observaciones
Hansen y Narud, 1983	4-8	8,5; 8,7; 8,7	3,70	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
	8-16	5,0; 5,4; 5,7	1,8		
	16-32,0	3,8; 4,0; 3,7	0,8		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	5,4; 4,5; 4,7	0,3	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,80; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah et al, 1988	4,75-9,5	6,4	0,35	Granítico	f'c: 60 MPa.
	9,5-13,2	5,5			
	13,2-19,0	5,4			
	> 19,9	5,4			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	4,5; 8,1	2,0	Calizo	f'c: 50 y 44 MPa, respectivamente
	4,75-25,0	3,8; 6,6	1,0		
Gómez et al, 2001	5-10,0	7,0	1,1	Calizo	
	10-20,0	6,0	0,9		
Poon et al, 2004	4,75-10,0	7,6	1,2	Granítico	
	10,0-20,0	6,3	1,2		
Buyle-B y Hadjieva-Z, 2002	6-20,0	6,0	0,2	Silíceo triturado	
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0	5,0	0,5	Granítico	Laboratorio Planta
	6-20,0	5,1	0,5	Granítico	
Cuneo Simian y Duran, 2002	4,75-19,0	5,5	0,2	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	6,8	0,8	Silíceo triturado	
	4,75-19,0	5,8	0,6	Basalto	
Katz, 2003	2,36-9,5	9,7; 8,1; 8,0			AGR a edades 1, 3 y 28 días
	9,5-25,0	3,7; 4,1; 4,9			
Padmini et al, 2009	4,75-10,0	4,6; 4,8; 5,0	0,3	Granítico	f'c: 34, 48, 55 MPa, respectivamente
	4,75-20,0	3,7; 4,1; 4,9	0,3		
	4,75-40,0	2,2; 2,5; 2,8	0,3		

Fuente: Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en obras viales. Gino F. Flor Chavez.

En referencia a estudios realizados en Argentina, Di Maio et al 2002, encontró que el agregado grueso reciclado presentaba absorciones de agua de 5,4 %, independientemente de la calidad del hormigón de origen, mientras que la absorción del agregado natural fue de 0,5 %.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Resistencia al desgaste

El ensayo de desgaste por abrasión Los Ángeles nos proporciona una idea de la resistencia y tenacidad del agregado debido a la pérdida de peso del árido. En este ensayo el agregado está sometido a la abrasión entre partículas y al desgaste provocado por las esferas de fundición de hierro. Debido a la presencia de interfaces entre los agregados y la pasta de cemento, en general, la resistencia del hormigón resulta inferior a la de la roca que compone el agregado [Ziegeldorf, 1983] y a la del propio mortero [Giaccio y Zerbino, 1997].

Llevado esto a los agregados reciclados obtenidos de la trituración de hormigones, es de esperar que la resistencia de dichos agregados sea inferior a la de los AGN, debido a la existencia de dichas interfaces en las partículas que componen los agregados reciclados.

Las primeras investigaciones sobre el comportamiento de este material ante el ensayo de Los Ángeles se observó que cuanto menor es la calidad del agregado reciclado es mayor el desgaste. [Hansen y Narud, 1983; Tavakoli y Soroushian, 1996; Hernández y Fornasier, 2005; Tabsh y Abdelfatah, 2009].

Este comportamiento es atribuido a la presencia del mortero que se encontraba adherido a las partículas de los agregados reciclados, el cual se desgasta más rápido que el agregado natural como se puede apreciar en la tabla 4.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

En la tabla 4 muestra el desgaste del agregado reciclado en función del tamaño de la partícula considerada, característica del hormigón de origen y tipo de agregado natural.

TABLA 4
Desgaste Los Ángeles del AGR según varios autores.

Referencia	Fracción (mm)	Desgaste AGR	Desgaste AGN	Tipo de AGN	Observaciones
Hansen y Narud, 1983	4-8	30,1; 32,6; 41,4	25,9	Calizo	Razón a/c 0,40; 0,70; 1,20 respectivamente
	8-16	26,7; 29,2; 37,0	22,7		
	16-32	22,4; 25,4; 31,5	18,8		
Sri Ravindrarajah y Tan, 1985	5-37,5	37,2; 40,8; 40,8	18,1	Granítico	Razón a/c 0,51; 0,60; 0,73 respectivamente
Sri Ravindrarajah et al, 1988	4,75-9,5	36,2	18,5	Granítico	f c: 60 MPa.
	9,5-13,2	31,6			
	13,2-19,0	27,7			
	> 19,0	28,8			
Tavakoli y Soroushian, 1996	4,5-19,0	26,4; 41,7	22,9	Calizo	f c: 50 y 44 MPa, respectivamente
	4,75-25,0	28,7; 42,7	22,9		
Hernández y Fornasier, 2005	4,75-20,0	32,0	19,0	Granítico	Laboratorio Planta
	6-20,0	40,0	19,0	Granítico	
Cuneo Simian y Duran, 1995	4,75-19,0	29,2	22,0	Granítico	a/c: 0,56
	4,75-19,0	42,5	37,0	Silíceo trit	
	4,75-19,0	31,9	21,6	Basalto	
Gómez et al, 2001	5-10,0	29,9	21,2	Calizo	
	10-20,0	33,4	21,6	Calizo	
Tabsh y Abdelfatah, 2009	4,75-25,0	28,0; 33,0	24,0		f c: 50; 30 MPa, respectivamente

Fuente: Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en obras viales. Gino F. Flor Chavez.

Con toda esta bibliografía se puede concluir que la presencia de mortero en los AR permite mayor desgaste de las partículas incidiendo directamente en la pérdida de peso de los agregados, con porcentajes



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

de desgaste que varía entre 22 y 42 %. Los factores que más influyen en definitiva en el desgaste de los AR a más de la densidad y absorción son el tamaño de las partículas, el procesamiento empleado en la planta y la resistencia del hormigón de origen.

El CIRSOC vigente exige un desgaste inferior al 50 %, para el caso de hormigones expuestos a la abrasión, la pérdida debe ser inferior del 30 %. En cambio las recomendaciones de la CPA exige que para capa de rodadura el desgaste del agregado sea menor al 25 % y para otras capas (base asfáltica) inferior al 30 %.

2.8. CALIDAD DE LA BASE Y SUB BASE DE UN PAVIMENTO

Las consideraciones técnicas referidas a la calidad de la Base y Sub-Base Granular aprobado sobre una superficie preparada en una o varias capas están normados por el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

2.8.1. SUB-BASE GRANULAR

Los agregados para la construcción de la Sub-Base Granular deberán satisfacer los requisitos indicados: (Manual de Carreteras, EG-2013, Sección 402).



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

TABLA 5

Requerimientos Granulométricos para Sub-base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. (3/8 ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241 – Manual de Carreteras, EG-2013, (Sección 402-01).

(1) La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Además, el material también deberán cumplir los requisitos de calidad.

TABLA 6

Requerimiento de Ensayos Especiales

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	.-	.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	.-	D 4791	.-	20% máx.	20% máx.

Fuente: ASTM D 1241 – Manual de Carreteras, EG-2013 (Sección 402-01).



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

- (1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca de una penetración de carga de 0,1" (2.5 mm)
- (2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

2.8.2. BASE GRANULAR

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos indicados en este documento, además deberán ajustarse a las siguientes especificaciones de calidad.

(a) Granulometría.

La composición final de los materiales presentará una granulometría continua, bien graduada y según los requerimientos de una de las franjas granulométricas que se indican en la siguiente tabla. Para las zonas con altitud iguales o mayores a 3.000 msnm. Se deberá seleccionar la gradación "A".



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

TABLA 7

Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. ($\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241 – Manual de Carreteras, EG-2013 (Sección 403-01)

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican.

TABLA 8

Valor Relativo de Soporte, CBR

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes ($<10^6$)	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes ($\geq 10^6$)	Mín. 100%

Fuente: Manual de Carreteras, EG-2013 (Sección 403-02).

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)

La franja por utilizar será la establecida en los documentos del Proyecto y aprobada por el Supervisor.

(b) Agregado Grueso.

Se denominara así a los materiales retenidos en la Malla N° 4 los que consistirán de partículas pétreas durables y trituradas



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

capaces de soportar los efectos de manipuleo, extendido y compactación sin producción de finos contaminantes. Deberán cumplir las siguientes características:

TABLA 9

Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos Altitud	
				< 3.000 msnm	≥ 3.000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)		D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888		0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104		18% máx.

Fuente: Manual de Carreteras, EG-2013 (Sección 403-03)

(c) Agregado Fino

Se denominara así a los materiales pasantes de la malla N° 4 que podrán provenir de fuentes naturales o de procesos de trituración o combinación de ambos.

TABLA 10

Requerimientos Agregado Fino

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		<3.000 msnm	≥3.000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	----	15%

Fuente: Manual de Carreteras, EG-2013 (Sección 403-04)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Método Experimental. La investigación se desarrollara por completo en laboratorio de mecánica de suelos siguiendo los procedimientos de las normas técnicas peruanas comprendiendo la selección, observación y registro sistemático, valido y confiable de acontecimientos, cuadros de comportamiento y ambientes significativos para el problema que se plantea.

3.2. UNIVERSO O POBLACIÓN

3.2.1. Universo:

Escombros de la construcción del distrito de Nuevo Chimbote, Provincia del Santa – Ancash.

3.2.2. Población:

Escombros de la construcción del vertedero informal “Anconcillo” en Nuevo Chimbote.

3.3. DISEÑO Y CARACTERÍSTICA DE LA MUESTRA

La selección de la muestra obedece al tipo de muestreo probabilístico elegido al azar. El modo operativo para el muestreo está establecido por la Guía para muestreo de suelos y rocas MTC E 101-2000 del Manual de Ensayos de Materiales EM 2000.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

a) Método de Muestreo:

Deben obtenerse muestras representativas de suelo o de roca, o ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio de la dirección técnica, pero se sugieren, para algunos propósitos, las siguientes cantidades, para la mayoría de los materiales.

- Clasificación visual: 500 gr.
- Análisis granulométrico y constantes de suelo granulares: 0,50 a 2,5 Kg.
- Ensayo de compactación del agregado granular: 20 a 40 Kg.
- Producción de agregados o ensayos de agregados: 50 a 200 Kg.

3.4. ESTRATEGIA DEL ESTUDIO

El programa experimental fue realizado a partir de la recolección de pedazos de losas de concreto correspondientes a trabajos de construcción y demolición de edificaciones y pavimentaciones, ubicadas



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

en vertedero “Anconcillo”, tramo Panamericana Norte, altura de San Luis.

Considerando que el principal objetivo de este trabajo de tesis es mejorar el agregado obtenido de los escombros de construcción para el aprovechamiento como bases y sub bases de un pavimento, se procedió a la obtención de diferentes fracciones de residuos para explorar su uso en reemplazo total o parcial de agregados naturales para la elaboración de estabilizados granulares.

El estudio experimental llevado a cabo consta de 2 etapas: La primera consistió en la obtención y estudio de las propiedades físico-mecánicas de los agregados reciclados, las que como referencia fueron comparadas con la de los agregados naturales seleccionados para realizar las diversas experiencias.

La segunda etapa aborda el análisis del uso del agregado reciclado para elaborar una base granular. Esta base estará compuesta de agregados reciclados, utilizando tanto la fracción gruesa como la fina en su totalidad y combinados con agregados naturales (afirmado) de la Cantera “San Pedrito”, que por sus optimas propiedades, se pretende elevara las características mecánicas del AR.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Posterior al procedimiento de muestreo de campo se procederá a triturar el material hasta obtener una gradación máxima de 1 1/2” de diámetro



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

convirtiéndose los residuos de construcción y demolición (RCD) en “agregado reciclado” (AR).

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agregado reciclado (AR) y su combinación con agregados naturales serán caracterizadas bajo el procedimiento y métodos del Manual de Ensayo de materiales EM 2000 – MTC, de la siguiente manera:

1. Se determinara cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas– Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado, caracterización de la forma de agregados – Índice de aplanamiento y alargamiento.
2. Se obtienen las cantidades de partículas de cloruros, sulfatos y sales totales– Ensayos Químicos.
3. Paralelamente se calcula la capacidad de soporte de la muestra – Ensayo CBR, porcentaje de abrasión en máquina de los ángeles y porcentaje de equivalente de arena.

Todo el procedimiento será registrado en fichas, formatos y hojas de cálculo de laboratorio para su posterior análisis.

3.6. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

El procesamiento de los datos obtenidos en laboratorio como resultado de los ensayos realizados será sometido a análisis estadístico y resumirse en cuadros y gráficos comparativos.



CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACION DEL AGREGADO NATURAL

Las propiedades evaluadas sobre el agregado natural (AN) incluyeron granulometría, máxima densidad seca (MDS), pérdida de peso por desgaste Los Ángeles, equivalente de arena, índice de aplanamiento y alargamiento, etc. En el cuadro 01 se indican los resultados.

Cuadro 01

Resultados de los ensayos físicos y mecánicos realizados al AN de
Cantera “San Pedrito”

Ensayo de Materiales	Norma	Agregado Natural (AN)	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GP	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a (0)	
Limite Líquido	MTC E 110	N.P.	
Limite Plástico	MTC E 111	N.P.	
Índice de Plasticidad		N.P.	
Equivalente de Arena	MTC E 114	70.75%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	18%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Max. Densidad Seca (gr/cm ³)	2.290
		Humedad Óptima (%)	6.60
CBR	MTC E 132	120.82%	
Índice de Aplanamiento y Alargamiento	MTC E 221	10.68%	
Partículas Fracturadas	MTC E 211	1 Cara	91.21%
		2 Caras	79.10%
Sales Solubles Totales	USBR E-8	0.11%	

Fuente: Elaboración propia.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

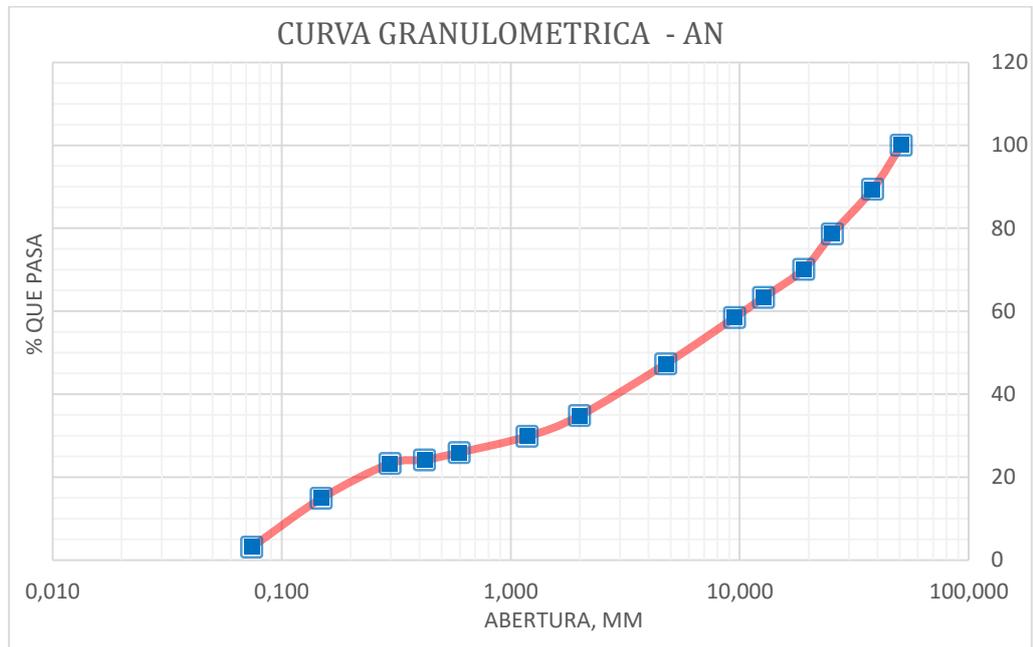


Figura 05: Gradación del Agregado Natural, Cantera “San Pedrito”

Tal como se observa, la muestra cumple con las gradaciones tipo A y B para un material a ser usado como Base Granular y Sub Base Granular. Por otro lado, del ensayo de Equivalente de Arena se obtiene un 70.75% cumpliendo con los parámetros mínimos de 35% para Base Granular y 25% para Sub Base Granular. El desgaste de Abrasión Los Ángeles es de 18%, cumpliendo con los parámetros máximos de 40% para Base Granular y 50% para Sub Base Granular. El Índice de Alargamiento y Aplanamiento es de 10.68% característica física muy óptima para los fines evaluados, al igual que los resultados de partículas fracturadas. Del ensayo CBR; se obtiene un 120.82% cumpliendo con los parámetros mínimos de 80% para trafico ligero y medio, tráfico pesado 100% en Base Granular y 40% para Sub Base Granular



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Finalmente la cantidad de Sales Solubles Totales no supera el parámetros máximos de 0.50% para Base Granular y 1% para Sub Base Granular, obteniendo un 0.11%.

4.2. CARACTERIZACION DE LOS AGREGADO RECICLADO

Como en el Perú, no se cuenta con normativas y/o recomendaciones para la evaluación de agregados reciclados, sus propiedades fueron determinadas mediante la aplicación de normas vigentes en el país para los AN.

El análisis granulométrico del material se realizó según la norma ASTM D421. Como fuera explicado en el capítulo anterior se trituraron los residuos hasta obtener un tamaño máximo de 1 ½” y se procedió al tamizado sin separar las fracciones gruesas de las finas. La curva granulométrica se representa en la siguiente figura.

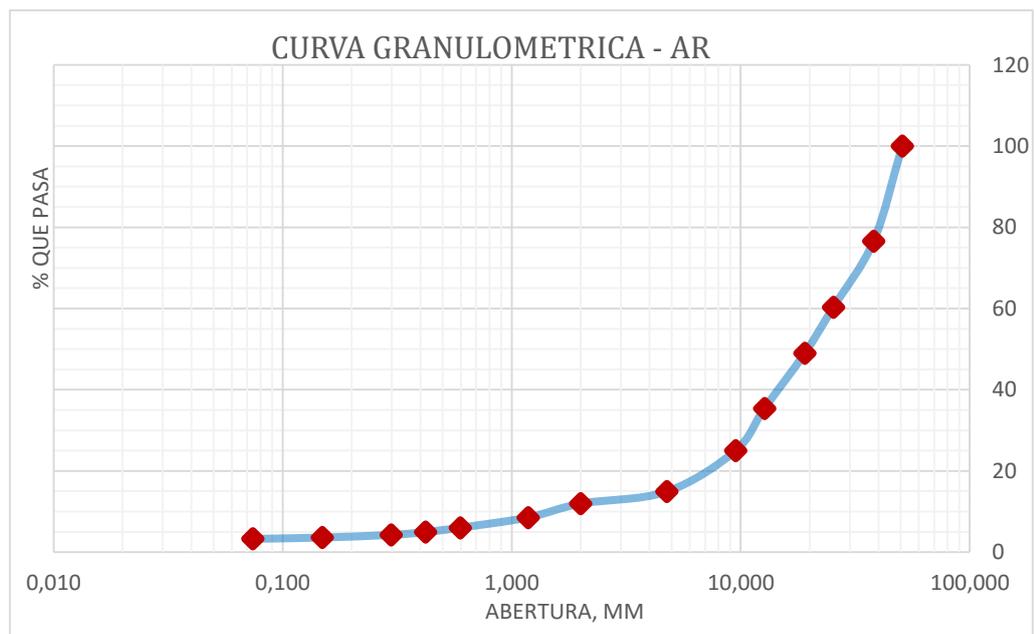


Figura 06: Gradación del Agregado Reciclado.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Para completar la caracterización se determinaron la máxima densidad seca (MDS), la resistencia al desgaste con la máquina Los Ángeles, etc. En el cuadro 02 se muestran los resultados obtenidos para las fracciones de AR.

Cuadro 02

Resultados de los ensayos realizados al AR

Ensayo de Materiales	Norma	Agregado Reciclado (AR)	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GW	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a (0)	
Limite Liquido	MTC E 110	N.P.	
Limite Plástico	MTC E 111	N.P.	
Índice de Plasticidad		N.P.	
Equivalente de Arena	MTC E 114	74.34%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	43%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Max. Densidad Seca (gr/cm ³)	1.974
		Humedad Óptima (%)	7.50
CBR	MTC E 132	60.67%	
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.13%	

Fuente: Elaboración propia.

La muestra cumple con las gradaciones tipo A y B siendo un material apto para su uso como Base y Sub Base Granular.

Del Equivalente de Arena se obtiene un 74.34% cumpliendo con los parámetros mínimos de 35% para Base Granular y 25% para Sub Base Granular.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

Del desgaste de Abrasión Los Ángeles se obtiene un 43% no cumpliendo con el parámetro máximo de 40% para Base Granular, pero estando dentro del 50% para Sub Base Granular.

El ensayo CBR muestra un 60.67% de índice de soporte, no cumpliendo con los parámetros mínimos de 80% para tráfico ligero y medio, tráfico pesado 100% en Base Granular, pero estando dentro del 40% para Sub Base Granular.

4.3. ESTUDIO SOBRE COMBINACION DE AGREGADOS

Se realizó el estudio de una base granular mejorada utilizando tanto la fracción gruesa como fina del agregado reciclado mezclados con un suelo natural proveniente de la cantera “San Pedrito”. Se estudiaron en primer término las características del suelo seleccionado: Granulometría Vía Húmeda, Límite Líquido, Límite Plástico y la Clasificación de Suelos.

La mezcla de material destinado a la conformación de bases o sub bases responderá a las condiciones que indique las Especificaciones Técnicas Generales para construcción del Manual de Carreteras EG-2013 del MTC en su Sección 402 y 403. Para analizar el comportamiento del agregado reciclado con incorporación de un agregado natural se realizaron tres combinaciones en las siguientes proporciones AR – AN respectivamente: 50 – 50, 60 – 40, 75 – 25. Los resultados se expresan en los siguientes cuadros.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Cuadro 03

Resultados de los ensayos Combinación 50 AR – 50 AN

Ensayo de Materiales	Norma	Combinación 50% AR - 50% AN	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GP	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a (0)	
Limite Liquido	MTC E 110	N.P.	
Limite Plástico	MTC E 111	N.P.	
Índice de Plasticidad		N.P.	
Equivalente de Arena	MTC E 114	61.22%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	35%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Max. Densidad Seca (gr/cm ³)	2.128
		Humedad Óptima (%)	7.20
CBR	MTC E 132	115.62%	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 04

Resultados de los ensayos Combinación 60 AR – 40 AN

Ensayo de Materiales	Norma	Combinación 60% AR - 40% AN	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GP	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a (0)	
Limite Liquido	MTC E 110	N.P.	
Limite Plástico	MTC E 111	N.P.	
Índice de Plasticidad		N.P.	
Equivalente de Arena	MTC E 114	48.28%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	32%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Max. Densidad Seca (gr/cm ³)	2.071
		Humedad Óptima (%)	8.30
CBR	MTC E 132	113.97%	

Fuente: Elaboración propia.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Cuadro 05

Resultados de los ensayos Combinación 75 AR – 25 AN

Ensayo de Materiales	Norma	Combinación 75% AR - 25% AN	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GP	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A1-a (0)	
Limite Liquido	MTC E 110	N.P.	
Limite Plástico	MTC E 111	N.P.	
Índice de Plasticidad		N.P.	
Equivalente de Arena	MTC E 114	59.22%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	29%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Max. Densidad Seca (gr/cm ³)	2.044
		Humedad Óptima (%)	7.80
CBR	MTC E 132	86.72%	

Fuente: Elaboración Propia.

Del resultado de los ensayos se puede inferir que las muestras presentan características óptimas respecto a la capacidad de soporte indicado por el CBR, dando como resultados desde un 115.62 % para la combinación 50 AR- 50 AN, 113.97 % para la muestra 60 AR- 40 AN y 86.72 % para la muestra 75 AR- 25 AN, con ello se estaría superando el límite de 40 % y 80 % como requisitos mínimos para sub base y base granular.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

4.3.1. CUADROS COMPARATIVOS

Siguiendo con la evaluación de las combinaciones, se compara los índices de CBR del AR, AN y AR con aporte de agregado natural, porcentajes mínimos y máximos según normas para bases y sub bases.

Cuadro 06

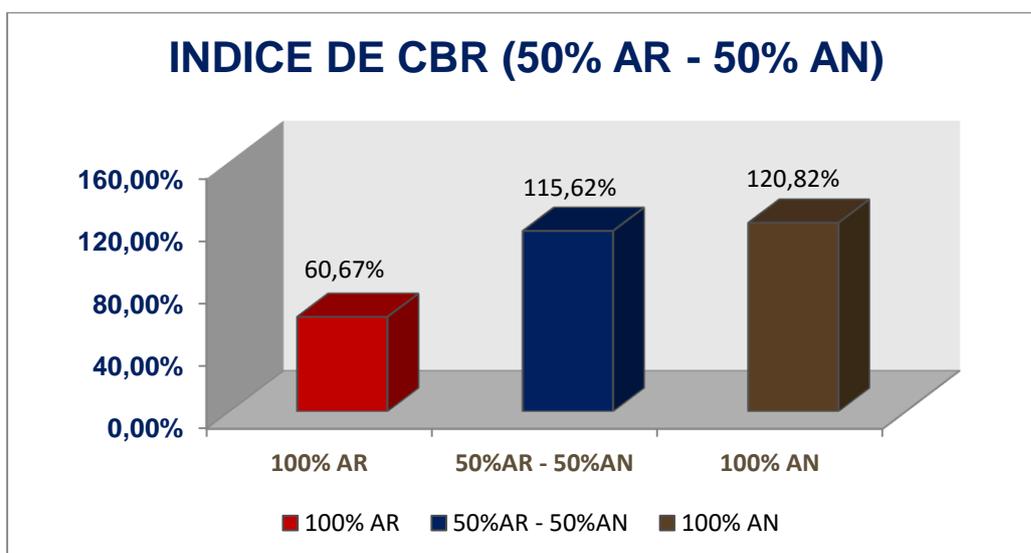
Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones de 50% AR y 50% AN.

ENSAYO CBR 50%AR - 50%AN					
Requerimientos			Ind. CBR		
Estructura Pavimento			50%AR - 50%AN	100% AR	100% AN
Base	Min.	80%	115.62%	60.67%	120.82%
Sub base	Min.	40%			

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 1:

Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones de 50% AR y 50% AN.



Fuente: Elaboración propia



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Comentario: De acuerdo a los resultados podemos apreciar que el índice de CBR de 50%AR cumple con los requerimientos mínimos para material de sub base y base por encontrarse por encima de 40% - 80% del CBR respectivamente; y el CBR 100%AR solo cumple con los requerimientos mínimos para un material de sub base por encontrarse por encima del 40% del CBR.

Los índices de las combinaciones de CBR de 100%AR y 50%AR se encuentran por debajo del índice de CBR de 100%AN.

Cuadro 07

Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones
de 60% AR y 40% AN.

ENSAYO CBR 50%AR - 50%AN					
Requerimientos			Ind. CBR		
Estructura Pavimento			60%AR - 40%AN	100% AR	100% AN
Base	Min.	80%	113.97%	60.67%	120.82%
Sub base	Min.	40%			

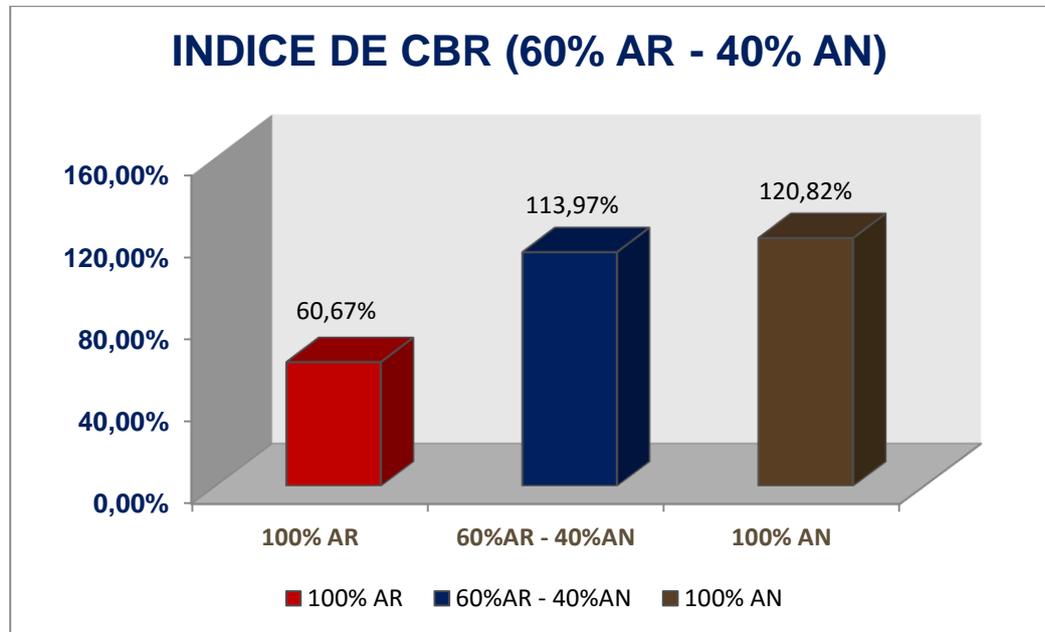
Fuente: Elaboración propia



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

GRAFICO 2:

Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones
de 60% AR y 40% AN.



Fuente: Elaboración propia

Comentario: De acuerdo a los resultados podemos apreciar que el índice de CBR de 60%AR cumple con los requerimientos mínimos para material de sub base y base por encontrarse por encima de 40% - 80% del CBR respectivamente; y el CBR 100%AR solo cumple con los requerimientos mínimos para un material de sub base por encontrarse por encima del 40% del CBR.

Los índices de las combinaciones de CBR de 100%AR y 60%AR se encuentran por debajo del índice de CBR de 100%AN.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Cuadro 08

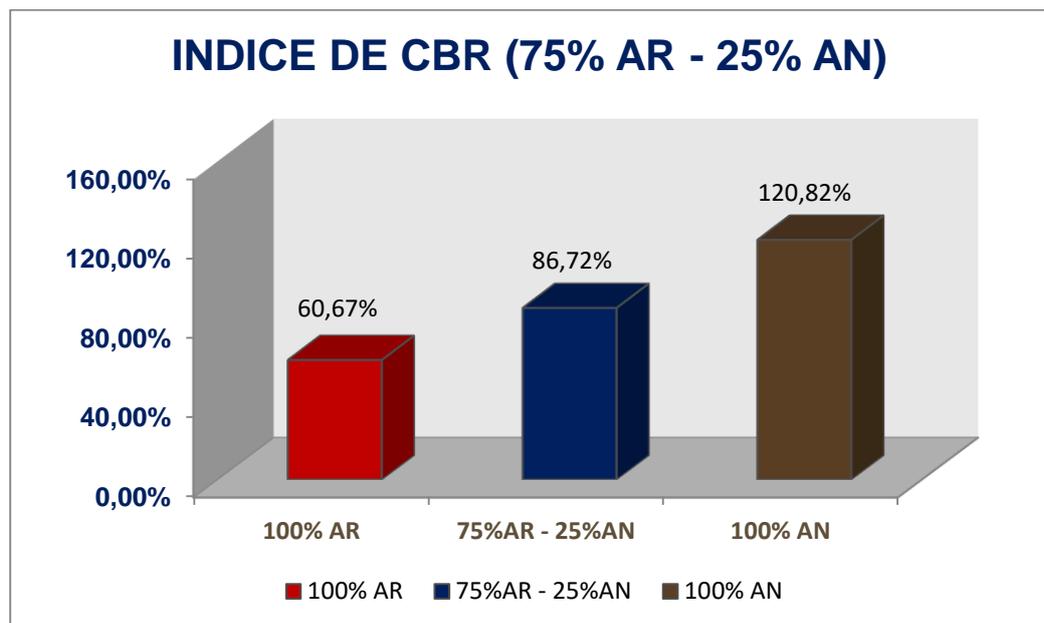
Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones
de 75% AR y 25% AN.

ENSAYO CBR 75%AR - 25%AN					
Requerimientos			Ind. CBR		
Estructura Pavimento			75%AR - 25%AN	100% AR	100% AN
Base	Min.	80%	86.72%	60.67%	120.82%
Sub base	Min.	40%			

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 3:

Comparación con resultados de índice de CBR en combinaciones
de 75% AR y 25% AN.



Comentario: De acuerdo a los resultados podemos apreciar que el índice de CBR de 75%AR cumple con los requerimientos mínimos para material de sub base y base por encontrarse por encima de 40% - 80% del CBR respectivamente; y el CBR 100%AR solo



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

cumple con los requerimientos mínimos para un material de sub base por encontrarse por encima del 40% del CBR.

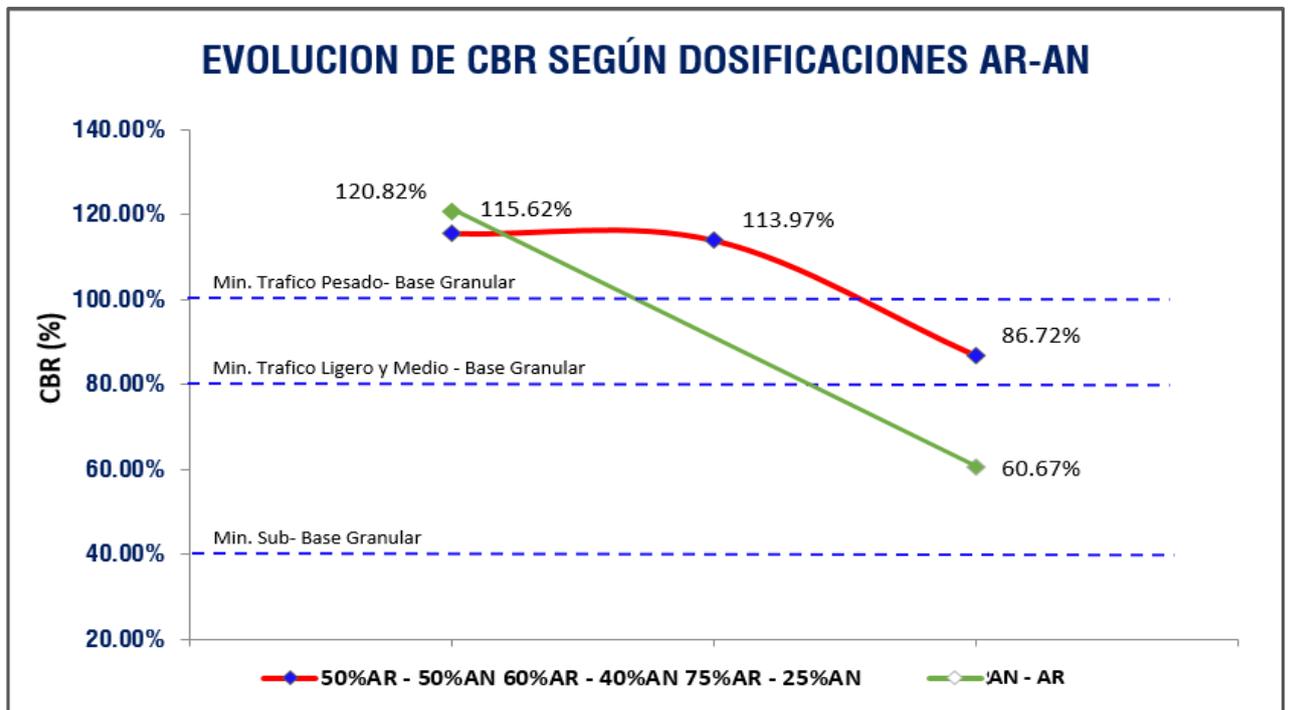
Los índices de las combinaciones de CBR de 100%AR y 75%AR se encuentran por debajo del índice de CBR de 100%AN.

4.3.2. GRAFICO COMPARATIVO.

En el siguiente grafico se muestran los resultados base de CBR tanto para agregado natural AN y agregado reciclado AR al 100% de su composición y por otro lado, la evolución de los resultados de CBR según sus dosificaciones.

GRAFICO 4:

Comparativos de CBR según dosificaciones y requisitos según Manual de Carreteras, sección 402 y 403.



Fuente: Elaboración propia



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Con base en los resultados de laboratorio realizados sobre el agregado reciclado AR se concluye que las propiedades físicas mostraron ser semejantes al agregado natural. En el caso de las propiedades mecánicas, están por debajo de las exigencias para material de base siendo aplicables solo como componente de sub base.
- El mejoramiento por combinación de agregados AR – AN presenta resultados óptimos en sus tres dosificaciones concluyendo que todas son aptas para conformar Base y Sub Base Granular en la estructura de un pavimento, sin embargo la proporción de 50%AR – 50%AN es la que presenta mejores resultados en comparación con las exigencias para un componente granular
- Las propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado, tales como abrasión, equivalente de arena y sales solubles totales dependerán principalmente de la calidad del mortero de concreto de origen y del tipo del agregado natural utilizado; por otro lado puede tener importancia las características de la zona de vertedero final tales como condiciones húmedas y salitre del suelo.
- La presencia de un alto contenido de cemento en el agregado estudiado se traduce en una forma cubica que promueve mejor acomodo entre las partículas durante el proceso de compactación. La



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

humedad de compactación influye en la quiebra de las partículas, siendo mayor cuando el material está más seco y menor cuando el material está más húmedo.

- En resumen, se puede concluir que la energía de compactación juega un papel importante en el comportamiento mecánico del AR, la presencia de cemento no hidratado puede incrementar la resistencia del material, esto se evidencia en los altos índices de CBR luego de la prueba de penetración hecha posteriormente al saturado de los testigos.
- Finalmente, se acepta la hipótesis planteada concluyendo que al mejorar el agregado obtenido de los escombros de las construcciones, para bases y sub bases, se logran altas capacidades resistentes y propiedades mecánicas similares al agregado convencional por lo tanto se podrán proponer como material alternativo en obras de pavimentación.



5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la clasificación del escombro sea del tipo **Clase A**: residuos de construcción, demolición, reformas y reparaciones de edificios: componentes cerámicos, mortero y concreto; además debe considerarse las condiciones de limpieza, alteración, y pureza de los residuos, esto quiere decir libre de plásticos, acero fatigado, maderas, lodos, aceites, etc.
- Se recomienda utilizar las fracciones gruesas y finas del material triturado, esto asemeja un componente granular natural con gradaciones y tamaños adecuados para una buena compactación.
- Para la obtención del agregado reciclado, se puede triturar concreto y morteros de cemento, pero de ningún modo se debe exceder en 20% el uso de morteros o unidades de albañilerías ya que esto incrementa el desgaste a la abrasión de la mezcla total.



MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH

5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

Arm, M. (2001). *Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial test and field test.* Waste Management, 21, pp. 235 – 239.

Asociación Brasileña de Normas Técnicas. NBR 15116: *Agregados reciclados de residuos de construcción civil.* Rio de Janeiro, 2004. Recuperado el 21 de mayo de 2015 en <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAesSoAl/nbr-15116?part=3>

Bernucci, L. B., Motta, L. M. G, Ceratti, J. A. P.(2006). *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.* PETROBRAS: ABEDA, Rio de Janeiro, 504 p.

Da Silva, A. (2009). *Utilización de materiales alternativos para la construcción de pavimentos urbanos en la región Metropolitana de Fortaleza.* Recuperado el 03 de mayo de 2015 en <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/3870>

Escandón M. J. C. (2011). *Diagnostico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá.* Recuperado el 03 de mayo de 2015 en <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/7516/1/tesis603>.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Flor, G. (2012). *Aprovechamiento de Hormigón Reciclado en Obras Viales*. Recuperado el 21 de febrero de 2015 en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/23820>

Gómez, A. y Farías, M. (2012). *Comportamiento físico-mecánico de un residuo de construcción y demolición en la estructura de pavimento*. Recuperado el 28 de abril de 2015 en http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/5_Vias_terrestres/I4GOJA_1.pdf

Leite, F. C., Motta, R. S., Vasconcelos, H. L., Bernucci, L. L. B. (2011). *Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements*. *Construction and Building Materials*, 25, 2011, pp. 2972-2979.

Mercante, I. T. (2007). *Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental*. *Revista Científica de Primavera UCES*, 24.

Manual de Carreteras, *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, Sub Bases y Bases Granulares. Sección 402 y 403*. Recuperado el 03 de mayo de 2015 en http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Natalini, M.B., Klees, D. R. y Tirner, J. (2000). *Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición - 2da. Parte.*

Recuperado el 2 de mayo de 2015 en
<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/7-Tecnologicas/T-017.pdf>

Nataatmadja, A. y Tan, Y. L. (2001). *Resilient response of recycled concrete road aggregates.* Journal of Transportation Engineering, Vol. 127,Nº5: pp 450 – 453.

Oliveira, J. C., Rezende, L. R., Guimarães, R. C. y Carvalho, J. C. (2005). *Variação dos parâmetros de compactação e CBR de agregados reciclados de resíduos da construção civil.* 36.a Reunião Anual de Pavimentação RAPv. Curitiba, Brasil.

Petkovic, G., Engelsen, J. C., Håøya, A. O. yBreedveld, G. (2004). *Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision-making in Norway.* Resources. Conservation and Recycling, 42: pp 249 – 264.

Rada G y Witczak M.W. *Comprehensive evaluation of laboratory resilient moduli results for granular materials.* Transport Res Record 1981; 810:23–33.



**MEJORAMIENTO DEL AGREGADO OBTENIDO DE ESCOMBROS DE LA CONSTRUCCIÓN
PARA BASES Y SUB-BASES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
EN NUEVO CHIMBOTE – SANTA – ANCASH**

Valdivia S., Hamidovic J., Nicolai M., Ruch M., Spengler Th. y Rentz O.
(1994). *Desarrollo de un modelo para la minimización y reciclaje de los desechos de la demolición y comparación de su aplicación en Alemania y Perú.* Recuperado el 03 de mayo de 2015 en <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/download/5524/5520>