

ÁRIDOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS CON ADMINISTRACIÓN ECOLÓGICA

Rodolfo Navarro¹, Daniel Navarro², Carlos Wahr³

Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabajo Técnico, elaborado para ser presentado en el XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto a realizarse entre el 20 y el 25 de noviembre de 2011 en Rio de Janeiro, fue seleccionado por el Comité Técnico del evento para dicho fin, de concordancia con las informaciones contenidas en el resumen sometido por el/los autor(es). Tal cual presentado, su contenido no fue revisado por el IBP. Por ende, los organizadores no traducirán ni corregirán los textos recibidos. La versión original del material presentado no refleja necesariamente las opiniones del Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, sus Asociados y Representantes. El/los autores de este Trabajo Técnico tienen pleno conocimiento de esto y aprueban su publicación en los Anales del XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.

Resumen

En la actualidad la tendencia mundial referente a las explotaciones de áridos ha sufrido variaciones, la integración del medio ambiente y desarrollo económico social sostenible han marcado la pauta en el desarrollo de la industria de áridos. El principal gestor de este cambio es “La Unión Europea”, que ha desarrollado e implementado una serie de políticas técnico- económico y ambiental, que han marcado un precedente mundial en la industria de los áridos. Lo anterior, ha sido consecuencia del trabajo asociado entre entidades gubernamentales, empresas, centros de investigación y diversas ONG.

La realidad de Chile y varios de los países Sudamericanos es diferente de las tendencias mundiales, tanto a niveles normativos, ambientales, técnicos y tecnológicos. Esta brecha es la base para la generación de una propuesta de normalización, con título: “Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales – requisitos generales y especiales”, la cual toma en cuenta las recomendaciones para los áridos para asfaltos y tratamientos superficiales expuestas en diferentes manuales de diseño vial en Chile y se fundamenta técnicamente en una transferencia tecnológica de la Norma Europea UNE-EN 13043, realizada bajo la vinculación entre la Universidad – Empresa, generando una transferencia de resultados mediante el trabajo asociado en I+D.

Cabe destacar que esta propuesta comprende las recomendaciones y exigencias medio ambientales consideradas por diferentes asociaciones de productores de áridos de la Unión Europea y donde además se presenta la experiencia de Sociedad Najar Ltda. en la administración ecológica en el tratamiento de los áridos en Chile.

Abstract

In current times, the global trend in aggregates exploitation has turned into integrating the environment and the sustainable social economic development into the industry. The main promoter of this change is the European Union, developing and implementing a series of technical-economic and environmental policies which have set a global precedent in the aggregates industry. This has been the result of associated work between government agencies, companies, research institutes and NGOs.

The reality of Chile and several other South American countries is different from global trends, both at the regulatory level, environmental, technical and technological. This gap is the base for generating a standardization proposal titled: “Aggregates for bituminous mixtures and surfaces treatments - general and special requirements”, which takes into account recommendations for aggregates used in asphalts mixes in Chile. Technically is based on a technology transfer from European Standard UNE-EN 13043, made under the linkage between University and Manufacturer, generating a transfer of results through the associated work of research and development.

It has to be noted that this proposal includes recommendations and environmental requirements considered by various associations of producers of aggregates of the European Union and that it also presents the experience of Najar Society Ltd. in ecological management in the treatment of aggregates in Chile.

¹ Ingeniero Civil – Najar Ingenieros S.A.

² Ingeniero Civil – Soc. Construcciones y Servicios Najar Ltda.

³ Ingeniero Civil, Profesor – Universidad Técnica Federico Santa María.

1. Introducción

Desde los comienzos de la humanidad, los áridos han estado presentes en forma directa e indirecta en casi todos los logros del desarrollo de nuestra sociedad, obras civiles como carreteras, aeropuertos, escuelas, hospitales, entre otras no podrían ser posibles sin la presencia de los áridos. Datos recientes, entregados por la Federación de Áridos - Español, hacen referencia a que cada habitante consume entre siete a diez toneladas al año de áridos, es decir, entre veinte y veinticinco kilogramos diarios, siendo el producto de mayor consumo después del agua.

En la actualidad, este material de construcción es indispensable para el diseño y construcción de pavimentos flexibles en nuestro país; no obstante lo anterior, a la fecha no se cuenta con una normativa acorde a las necesidades de los diseños de los pavimentos flexibles y que por lo tanto además condiciona la integración de las nuevas líneas del estado del arte internacional en la materia.

De lo anterior, se hace necesario trabajar en el desarrollo de propuestas de normalización que rijan el sector de los áridos, específicamente los utilizados en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales. Estas propuestas deberán constar con requisitos tanto técnicos, control de calidad, ambientales, de seguridad y la salud.

Por lo tanto, es importante evaluar las condiciones solicitadas a los agregados por los diseños de pavimentos actualmente aplicados en nuestro país. Analizar el escenario de la industria de los agregados nacionales, determinando cuáles son sus fortalezas y debilidades, para de esta forma poder realizar una alternativa viable de implementar al corto plazo.

El objetivo general del proyecto es generar una transferencia tecnológica, basado en el trabajo asociado entre Universidad - Empresa, desde los países más desarrollados en la producción de áridos utilizados en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales, considerando tanto los requisitos técnicos sobre la calidad, como la administración ecológica, logrando de esta forma una integración positiva del sector con la sociedad.

Los objetivos específicos del proyecto son: la incorporación del concepto europeo del mercado de los áridos, el cual considera que los productores declaren, para cada uno de sus materiales, cuales son las categorías que cumplen sus productores referentes a los requisitos establecidos por una normativa específica. Es importante clarificar que dentro de este tipo de estructura normativa, no se considera el establecer límites permisibles o valores umbrales, puesto de esta forma se deja a criterio de los manuales de recomendaciones viales y/o a los ingenieros civiles las características que deben cumplir los materiales utilizados en diferentes obras civiles que se encuentren fuera del espectro estándar cubierto por dichos manuales.

También es importante indicar, como otro de los objetivos específicos del proyecto, la incorporación de la administración ecológica tanto en las etapas de explotación y tratamiento de los áridos, generando de esta forma tanto una integración transversal con la sociedad local y el medio ambiente. Dentro de este punto se exponen los resultados a la fecha de dos proyectos, ambos generados en una planta de tratamiento de áridos ubicada en la Comuna de Dalcahue, Provincia de Chiloé, Región de los Lagos, Chile, perteneciente a la empresa Soc. Construcciones y Servicios Najjar Ltda, pionera en la administración ecológica de la industria de los áridos en Chile.

El primero de estos proyectos se denominada: “Establecimiento y desarrollo de especies nativas y/o exóticas en suelos subsolados mecánicamente para recuperar graveras como superficies productivas” y en el cual participa en calidad de coejecutor la Corporación Nacional Forestal-Chiloé, teniendo como objetivo general del proyecto la implementación de una unidad demostrativa forestal que presente una metodología aplicable para la restauración de graveras y donde además se pretende tanto monitorear en el tiempo la evolución de las especies arbóreas, como las condiciones ambientales referente a la recuperación de una explotación como un bien ambiental.

El segundo proyecto sobre la administración ecológica, tiene un punto de vista del tratamiento mismo de los áridos, es el referido a la implementación de buenas prácticas ambientales generales, destacándose los conceptos de la optimización del agua, gestión de residuos, mitigación de emisiones, y modificación de procesos productivos, obteniéndose una aplicación práctica de los conceptos de desarrollo sustentable y progreso social en el tratamiento de los áridos en Chile.

Dentro de este mismo punto Soc. Construcciones y Servicios Najjar Ltda diseñó, desarrolló e implementó a partir de finales de 2008 una Planta Prototipo de Recirculación y Tratamiento de Agua, para lavado de áridos denominada DPNJ – 15 (E) y de la cual se presentan tanto los resultados del monitoreo de la calidad de los residuos industriales líquidos procedentes hasta la fecha de dicha planta prototipo, como la experiencia en la implementación comercial de la PTA DPNJ-15 (E) en el Proyecto ampliación extracción de áridos en rio Rahue sector fundo el Almud, Provincia de Osorno, Región de los Lagos, Chile- Resolución Ambiental Exenta N° 114 del 16 de Febrero de 2011,- Soc. Dowling y Schilling S.A.”

2. Metodología y Definiciones Previas

El proyecto se desarrolla en cuatro etapas, definidas en intervalos de un año; Estado del Arte, año 2007; Pruebas, Implementación y Desarrollo de Prototipo, año 2008; Propuesta de Normalización, año 2009, Promoción, año 2010. En

estas etapas se encuentran presentes de modo permanente las actividades de administración, planificación y control de gestión.

2.1. Etapa 1 Estado del Arte

La primera fase del proyecto corresponde a la revisión bibliográfica y estado del arte sobre las normativas referente a los áridos utilizados tanto en las mezclas bituminosas como en los tratamientos superficiales. Se elige la estructura de normativa europea por considerar que su sistema normativo que considera el marcado de productos ha entregado muy buenos resultados del punto de vista de la calidad como en el ordenamiento de las explotaciones.

En esta fase se recaba, analiza y procesa toda la información teórica que tendrá incidencia de una u otra forma en el proyecto.

2.1.1. Antecedentes y normas técnicas

En la actualidad las especificaciones y recomendaciones de diseño de pavimentos flexibles en Chile condicionan las características que debe cumplir la mezcla final de los agregados y prácticamente casi no se establecen especificaciones para los parámetros de control de las características expuestas anteriormente para los áridos que generan dicha mezcla final.

Consecuente con lo anterior, no existe normativa por parte del Instituto Nacional de Normalización (INN) que controle la producción ni menos la forma de mezclado de los lotes para los áridos que formen parte de las mezclas bituminosas y tratamientos superficiales en Chile. Este punto deja en claro que para poder generar la dosificación óptima de bitumen y/o emulsión se debe realizar estudios para cada caso particular y en consecuencia genera una gran incertidumbre producto de la variabilidad existente en la mezcla final de agregados.

A continuación se presentan los documentos tanto nacionales como internacionales, bases para el desarrollo de la transferencia tecnológica para una propuesta de normativa referente a los áridos utilizados en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales.

2.1.1.1 Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, Versión 2008 - Chile

Este documento fija recomendaciones para las obras de pavimentos urbanos, dependientes del Ministerio de Vivienda y Urbanismo - División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, y donde el objetivo buscado por este código es el de poder disponer de un texto convenientemente ordenado que unifica la normativa técnica para el diseño, construcción y conservación de los pavimentos urbanos, sirviendo al mismo tiempo como un medio de consulta de carácter general dentro del campo de su aplicación.

Este código está constituido en su Primera Parte por las Especificaciones de Construcción de Pavimentos, una Segunda Parte que contiene las Normas de Diseño y finalmente una Tercera Parte, donde se presentan los Apéndices ya existentes en la versión anterior (1994), junto con una serie de Anexos, los cuales complementan y permiten una mejor comprensión de los temas tratados en dicho Código.

Lo que compete a los áridos para los pavimentos asfálticos se encuentra dentro de la sección 5. "Pavimentos Asfálticos" y donde las características controladas según esta recomendación nacional son: granulometría, tamaño y forma de partículas, naturaleza de las partículas gruesas y finas, dureza y plasticidad del árido fino. Cabe destacar que estas características controladas son sólo para la mezcla final de los áridos combinados y no define que se recomienda para los áridos a combinar.

2.1.1.2 Ministerio de Obras Públicas, "Manual de Carreteras", Marzo 2008 - Chile

Este documento fija recomendaciones con carácter normativo para las obras de pavimentos interurbanos, dependientes del Ministerio de Obras Públicas de la Dirección de Vialidad. El objetivo de esta guía es establecer políticas, criterios, procedimientos y métodos que deben cumplir los proyectos viales interurbanos, los que tienen relación en general con la planificación, estudios, evaluación, diseño, construcción, seguridad, mantenimiento calidad e impacto ambiental.

La estructura del Manual de Carreteras la conforman nueve volúmenes, acordes a las diferentes etapas y/o especialidades involucradas en las obras viales y donde el referente a los áridos es el Volumen N° 8, Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control, el cual define la normativa adoptada por la Dirección de Vialidad para establecer las características de los materiales que se utilizan en la construcción de pavimentos, y determina los procedimientos con que deben extraerse muestras, los métodos para ensayarlas y los procedimientos para el control de calidad.

Cabe destacar que las características controladas son sólo para la mezcla final de los áridos combinados y no define que se recomienda para los áridos a combinar, pero como definición el concepto de árido combinado se asocia sólo a la fabricación del hormigón y no para las mezclas asfálticas u otro tipo de pavimento flexible.

2.1.1.3 Norma Europea UNE-EN 13043:2003

Esta norma tiene como título en su versión en español: "Áridos para mezclas bituminosas y tratamiento superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas" y define requisitos para los áridos agrupados en dos

grandes grupos, siendo los primeros los requisitos para los áridos gruesos y áridos finos, para luego hacer una distinción en las propiedades que deben cumplir el polvo mineral (filler).

La Norma Europea 13043:2003 existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés), y fue desarrollada por el Comité Técnico CEN/TC 154 Áridos, cuya secretaría desempeña la British Standards Institution (BSI).

El objetivo principal de esta norma europea es la especificación de las propiedades de los áridos y del polvo mineral (filler) obtenidos por tratamiento de materiales naturales, artificiales o reciclados para su uso en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas. Cabe destacar que esta norma no considera ni contempla el empleo de áridos procedentes del reciclado de mezclas bituminosas.

Además esta norma europea establece procedimientos para la evaluación de calidad y conformidad de los productos, mediante el establecimiento de carácter normativo del marcado CE de los agregados.

Debe dejarse en claro que la idea principal de este documento normativo, es poder controlar los áridos que serán y/o son combinados para generar el esqueleto mineral de un pavimento flexible, y que de ninguna forma establece criterios de diseño de pavimentos ni menos especificaciones técnicas para los mismos. Es decir esta norma establece los lineamientos de control de calidad que deben cumplir los productos pétreos utilizados como áridos para mezclas bituminosas y tratamiento superficiales, determinando que todos los productores declaren sus materiales bajo los mismos criterios y/o requisitos del tipo geométricos, físicos y químicos que serán expuesto posteriormente.

2.1.2. Requisitos Áridos gruesos y finos

En base a la Norma Europea UNE – EN 13043:2003 y en función de lo establecido en Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, Versión 2008 (Chile) y Manual de Carreteras, Marzo 2008 (Ministerio de Obras Públicas Chile), se define que los requisitos a considerar para la declaración de los áridos gruesos y finos son del tipo geométricos, físicos y químicos.

2.1.2.1 Requisitos Geométricos

Son todos aquellos requisitos que pueden ser modificados en el proceso de tratamiento de los áridos en forma mecánica y que son condicionados por el tipo de extracción (cantera, gravera, banco de arena, entre otros), técnicas de selección previa y por el tratamiento mismo de los áridos, donde influyen directamente las configuraciones de plantas mediante los tipos de equipos utilizados en las diferentes aéreas como trituración, chancado, selección, lavado entre otros.

Algunos ejemplos de requisitos geométricos son la granulometría, porcentaje de chancado de los áridos gruesos, coeficiente de flujo de los áridos finos, calidad de los finos mediante los ensayos de azul de metileno de acuerdo con la Norma Europea UNE-EN 933-9 y/o equivalente de arena, entre otros.

Cabe destacar que requisitos sobre la calidad de los finos en base a ensayos como el azul de metileno y/o el equivalente de arena, son considerados requisitos geométricos, debido a que a pesar que tienen relación con la suciedad de los materiales y se podría pensar que no tiene relación con la geometría, estos parámetros pueden ser controlados con una buena elección de equipos, diagramas de producción y/o una buena selección de los puntos de extracción.

2.1.2.2 Requisitos Físicos

Son todos aquellos requisitos que dependen directamente con las propiedades inherentes que entrega el tipo o punto de explotación, es decir son aquellos que no pueden ser mejorados por los procesos mecánico - físicos del tratamiento de los áridos y que por lo tanto no dependen de los tipos de equipos utilizados si se fijan los requisitos geométricos del mismo.

Algunos ejemplos de requisitos físicos para los áridos gruesos y finos son la resistencia a la degradación por abrasión del árido grueso, en base al ensayo de Coeficiente micro-Deval, la resistencia a la fragmentación de los áridos gruesos mediante el control del Desgaste de los Ángeles, densidad de las partículas, entre otros.

Es importante aclarar que como es ampliamente conocido el valor del desgaste de los ángeles aumenta si se considera un árido con mayor porcentaje de chancado de los áridos gruesos. Esto se debe a las características intrínsecas del ensayo y que es considerado un requisito físico, puesto para un árido grueso con una categoría, porcentaje de chancado y porcentaje de lajas fijo, no se puede modificar mecánicamente esta propiedad.

2.1.2.2 Requisitos Químicos

Son todos aquellos requisitos que dependen directamente del tipo o punto de explotación, que no pueden ser modificados por el tratamiento de los áridos y que pueden afectar químicamente alguna obra civil. Algunos ejemplos de requisitos químicos son la composición química, contaminantes ligeros gruesos y el contenido de sales solubles.

2.2. Etapa 2 Pruebas, Implementación y Desarrollo de Prototipo

En esta etapa se realizan pruebas de campo a escala real con el objetivo de cotejar y verificar la capacidad de aplicación de las definiciones y requerimientos presentados en la normativa europea UNE-EN 13043:2003 específicamente en la líneas de producción, considerando las condicionantes locales y tecnológicas disponibles en la planta de áridos de la

Soc. Construcciones y Servicios Najar Ltda. En complemento se desarrollan unidades demostrativas en la recuperación de zonas de explotación de agregados como bien ambiental y el desarrollo de prototipos para el tratamiento de aguas de lavados de áridos, y mejoras en los procesos y manejo del ambiente en la explotación y zona de tratamiento de agregados,

2.3. Etapa 3 Propuesta de Normalización

En base a los antecedentes obtenidos en las etapas uno y dos por la empresa Soc. Construcciones y Servicios Najar Ltda, junto con el trabajo asociado con la Universidad Técnica Federico Santa María se genera un trabajo de pre grado con título: “Propuesta de normalización de los áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales en Chile”, el cual se basa en la normativa europea UNE-EN 13043:2003 y en las condiciones nacionales tanto de calidad, equipamiento y ambiente existente en el país a la fecha.

2.4. Etapa 4 Promoción

En la cuarta fase del proyecto, se elaboran informes, y a través de rondas de discusión técnicas se va retroalimentado la propuesta de normativa con la difusión tanto nacional como internacional de resultados y experiencia.

3. Pruebas de campo

3.1. Pruebas implementación Normativa Europea

Sociedad Construcciones y Servicios Najar Ltda en su planta de tratamiento de áridos sector Butalcura, Comuna de Dalcahue, Provincia de Chiloé, Región de Los Lagos, Chile produce materiales áridos para hormigones, pavimentos asfálticos, obras viales y civiles. El proceso productivo consiste básicamente en la extracción de áridos desde graveras ubicadas en el sector las cuales se tamizan y trituran mediante un sistema mecanizado no considerándose el uso de agentes químicos ni orgánicos en el proceso. En el caso específico de los procesos de selección y tamizado, se hace necesario la utilización de agua, cuya cantidad y aplicación varía en función de los materiales a producir y condiciones de explotación. Las aguas de lavado están constituidas básicamente por tierra, arcillas, gravas de baja granulometría y arenas.

En la etapa dos del proyecto se realizaron pruebas para analizar la posibilidad de cumplir ciertos requisitos establecidos en la norma UNE-EN 13043:2003 referente a los áridos gruesos y donde se analizaron las metodologías necesarias para lograr estandarizar los procesos de producción y de esta forma disminuir la variabilidad de los requisitos geométricos más incidentes.

De lo anterior se puede demostrar que las bandas granulométricas, tanto de las series de desclasificados superiores de 10% (Gc 90), como las de 15% (Gc 85), pueden ser cumplidas si se tienen líneas de producción que cuenten con chancadores secundarios de cono. Eso sí, la granulometría tiene una variabilidad que puede ser sólo acotada además por una correcta preselección de materiales a procesar y donde esto toma mayor importancia para asegurar los porcentajes de chancado y el porcentaje de lajas.

Otra conclusión de las pruebas fue que no se puede utilizar sólo chancadores de mandíbula o de trituración para la producción de áridos donde sea necesario el control de las bandas granulométricas y porcentaje de lajas. Lo anterior se debe a que este tipo de equipos sólo está diseñado para realizar tareas de disminución de tamaño y por ningún motivo fueron pensados para la generación de bandas granulométricas, ni menos para asegurar una variabilidad baja en el porcentaje de lajas.

Con respecto a la calidad de los finos, depende directamente de la optimización del consumo de agua y del tipo equipos para el lavado. En este último punto se pudo utilizar sólo de equipos de lavados de finos tipo tornillo y donde claramente, según visitas tecnológicas a plantas europeas, se apreció que existen otro tipo de unidades de mayor eficiencia económica, ambiental y de la calidad, como los grupos de hidrociclado con escurridores vibrantes y los sistemas lavadores de arenas tipo norias.

Finalmente y en base a los resultados obtenidos en esta experiencia de pruebas, Soc. Construcciones y Servicios Najar Ltda, decidió importar en forma directa una unidad seleccionadora móvil autopropulsada sobre orugas de origen Reino Unido, la cual permite la preselección del material integral antes del proceso mismo de tratamiento de los áridos en sus plantas fijas. Lo anterior permite disminuir la variabilidad en las bandas granulométricas, los porcentajes de chancado, calidad de finos y por último disminuye significativamente los costos de recuperación de las graveras explotadas.

3.2. Administración Ecológica en la Industria de Tratamiento de los Áridos

En la etapa dos del proyecto la empresa en complemento definió lineamientos específicos con el objetivo de lograr una interacción entre el medio ambiente, la actividad extractiva y productiva, considerándose para el presente trabajo elementos tales como el patrimonio cultural, gestión del agua, consumo energético, residuos, impacto visual para los procesos de restauración, relación con el entorno entre otros.

3.2.1. Unidad demostrativa recuperación gravera.

Los objetivos específicos de este trabajo fueron investigar e implementar conceptos de ingeniería y/o tecnologías, que aseguren el desarrollo sostenible de las explotaciones de áridos en graveras, transformando las zonas explotadas en bienes de servicios ambientales. Dentro del desarrollo de éste trabajo, la Sociedad Construcciones y Servicios Najar Ltda, en conjunto con la Corporación Nacional Forestal-Chiloé, han desarrollado una unidad demostrativa bajo el proyecto denominado “*Establecimiento y desarrollo de especies nativas y/o exóticas en suelos subsolados mecánicamente para recuperar graveras como superficies productivas*”. Esta unidad representa una metodología aplicable para la restauración de graveras, sumado a un proceso de implementación de buenas prácticas ambientales, destacándose los conceptos de optimización del agua, gestión de residuos, mitigación de emisiones, y modificación de procesos productivos, obteniéndose una aplicación práctica de los conceptos de administración ecológico en el tratamiento de los áridos.

Para la generación del área demostrativa se realizaron pruebas en dos zonas, la primera corresponde a una explotación abandonada sin gestión ambiental, la segunda a un nuevo frente de explotación el cual consideraba las metodologías de administración ecológica.

La metodología aplicada consiste en retirar por capas los estratos, evitándose mezclar cada uno de ellos, en complemento la explotación consta con la interacción de maquinaria de alta tecnología de selección, a través de seleccionadores móviles, con lo anterior, sólo se retira de la explotación los materiales que técnicamente y económicamente se requieren, luego se restituyen capas homogéneas y definidas en la Metodología Najar, en la cual se utilizan materiales arcillosos proveniente del tratamiento de aguas ,agregados drenantes y capas naturales de escarpe hasta 0,5 m. En la generación de la última capa se consideraron recomendaciones de la Corporación Nacional Forestal con el objetivo de generar un suelo apto para la actividad forestal.

Para el desarrollo de la unidad demostrativa en la nuevo frente de explotación se consideraron especies nativas, características de la zona, la fecha de plantación fue en octubre de 2009 en una superficie de una hectárea, con una densidad de 1600 [planta/Há], de las cuales 1000 plantas corresponden a *Nothofagus dombeyi* (coihue común), 300 plantas a *Nothofagus obliqua* (Roble) y 300 plantas a *Nothofagus alpina* (Raulí).

De los resultados forestales preliminares se puede exponer que el prendimiento fue de 1465 Plantas, correspondiente a 91.5% plantas y con una mortalidad de 135 Plantas, correspondiente a 50% Raulí, 30% Roble y 20% Coihue. Con respecto a la mortalidad en Raulí fue la esperada puesto no es una especie autóctona de la isla de Chiloé.

3.2.2. Planta Prototipo de Recirculación y Tratamiento de Agua, Lavado de Áridos DPNJ

Najar, consciente de los requerimientos del Estado de Chile, comenzó en 2007 el proceso de regularización e implementación de tecnologías permitan dar cumplimiento al DS 90/00, norma para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, destacando que Najar corresponde a una de las pocas empresas del rubro que informa sus descargas en la actualidad en el país. Resultado de lo anterior, Najar comenzó el proyecto de diseño de una unidad de tratamiento de RILES que considere los parámetros reales de la producción de áridos; para lo cual, se definieron los siguientes objetivos: Disminuir los consumos de agua cruda, permitir la recirculación del agua utiliza en condiciones aptas para el proceso de lavado de áridos, disminuir al mínimo las descargas de aguas de proceso, dar cumplimiento a la normativa vigente, recuperar sub productos procedentes del lavado de agregados, lograr una interacción amigable del tratamiento de los áridos con el medio ambiente y maximizar la utilización de la infraestructura existente.

3.2.2.1. Descripción sistema de recirculación y tratamiento

Dentro de los principales parámetros a controlar en el proceso de tratamiento de áridos se destacan los siguientes:

Tabla 1 Parámetros Físico – Químicos a controlar

Parámetros	Descripción Mitigación
Sólidos suspendidos	Constituido por arcillas de lavado / planta DPNJ-15(E)
Hierro	Constituido por arcillas de lavado / planta DPNJ-15(E)
Manganeso	Constituido por arcillas de lavado / planta DPNJ-15(E)
Aceites y grasas	Proceso se controla con manejo adecuado y almacenamiento aceites y grasas
DBO5	El tratamiento de áridos no se realiza procesos biológicos, acondicionamiento / planta DPNJ-15(E)
Aluminio	Controlado con implementación plan de recambio piezas de desgaste / planta DPNJ-15(E)
Temperatura	El tratamiento de áridos no considera procesos termodinámicos
Ph	El tratamiento de áridos, ni PRA consideran procesos químicos.
Caudal	Implementación del sistema permite acondicionamiento y aprovechamiento de agua recicladas.

El sistema de recirculación y tratamiento desarrollado corresponde a la instalación de una unidad complementaria al sistema de lagunas de tratamiento, la cuales constan de un desarenador, sedimentadores: unidad de mezclado y dosificación DPNJ-15 (E), clarificadores y unidad de reservorio de agua de recirculación. Es importante destacar que los lodos (limos) resultantes, son retirados y pueden ser utilizados para el proceso de restauración de suelos mediante Metodología Najjar, específicamente para la creación de aéreas verdes con especies arbóreas exóticas y nativas.

3.2.2.2. Resultados

A continuación se presentan resultados históricos de operación de la planta Planta Prototipo DPNJ - 15 (E) Dicha unidad se encuentra en operación y monitoreo mensual continuo, según DS 90/00, desde finales de 2008 a la fecha en su planta de tratamiento de áridos sector Butalcura, comuna de Dalcahue, Provincia de Chiloé, Región de los Lagos, Chile. Se debe hacer notar la importancia de la prioridad en los controles ambientales internos de producción para la aislación de variables externas a la planta de recirculación y tratamiento de agua para lavado de áridos, como en posibles variaciones en parámetros de las aguas de aporte, escorrentía superficial por crecidas, descargas ilegales de empresas externas en cursos de aguas cercanos, entre otros.

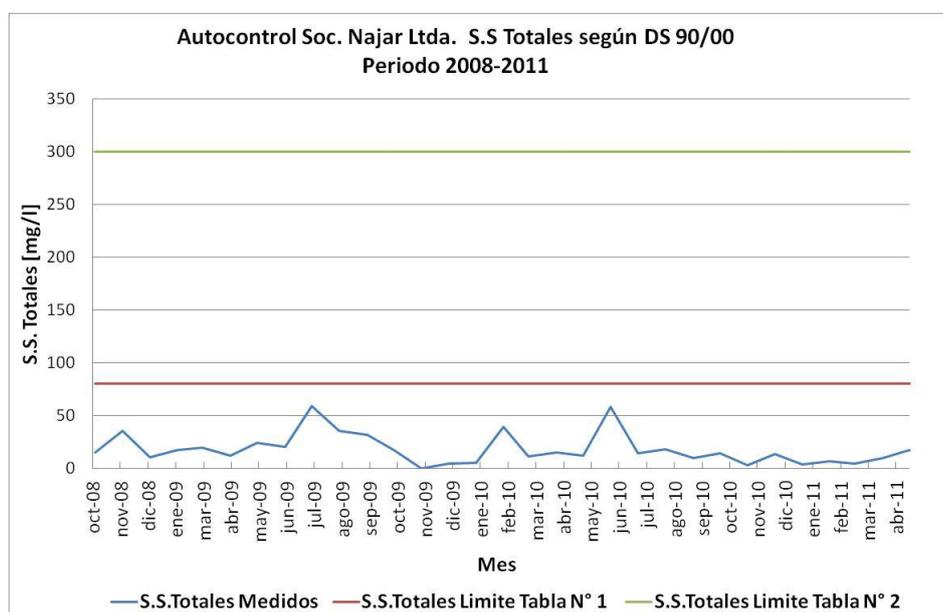


Fig. 1 Resultados Prototipo DPNJ-15 (E) Soc. Najjar Ltda.

En complemento se exponen los resultados obtenidos en la puesta en marcha “Planta de Recirculación y tratamiento de agua, para lavado de áridos” DPNJ – 15 (E) en Proyecto ampliación extracción de áridos en río Rahue sector fundo el Almud - Soc. Dowling y Schilling S.A.” según Resolución Ambiental Exenta N° 114 del 16 de Febrero de 2011.

Los datos que se presentan a continuación corresponden a la toma de muestras compuestas como los análisis de las mismas, tanto del Ril crudo (salida del tornillo lavador de arena) como a la salida la PTA, por el laboratorio Bioquality S.A., autorizado por Superintendencia de Servicios Sanitarios Chilena. Dichas muestras fueron realizadas el día 30-09-2010 y sus resultados fueron informados en los Análisis N° 53046/2010 para el Ril Crudo y N° 53045/2010 para la salida de la Planta de tratamiento.

Tabla 2 Resultados DPNJ – 15 (E) en Planta Áridos Rahue - Soc. Dowling y Schilling S.A

Parámetro	Unidad	Limite Tabla N°1 D.S 90/00	Muestra Cruda	% Sobrepasso Muestra Cruda	Muestra Resultante	% Eficiencia
Aluminio	[mg/l]	5	291,00	5720,0 %	3,73	98,7
DBO5	[mg/l]	35	2532,00	7134,3%	2,70	99,9
Hierro Disuelto	[mg/l]	5	0,18	0,0%	0,13	27,8
Manganeso	[mg/l]	0,3	3,42	1040,0 %	0,05	98,5
S.S Totales	[mg/l]	80	5970,00	7362,5 %	39,00	99,3

4. Propuesta de Norma

El presente documento hace referencia al desarrollo de una Propuesta de “Normalización de los áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales en Chile”, lo anterior, se sustenta en el trabajo asociado Empresa-Universidad, transferencia tecnológica norma base UNE-EN 13043:2003, y experiencia práctica realizada por la empresa Construcciones y Servicios Najjar Ltda. en una planta de tratamiento de áridos de bajo tamaño ubicado en la Provincia de Chiloé, Región de Los Lagos, Chile.

4.1. Título

“Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales – Requisitos Generales y Especiales.”

4.2. Objetivos y Campo de Aplicación

Esta propuesta de norma chilena especifica las propiedades generales y especiales de los áridos y del polvo mineral (filler) obtenidos por tratamiento de materiales naturales para su uso en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas. La misma no contempla el empleo de áridos reciclados, ni menos de áridos artificiales de origen mineral resultante de un proceso industrial que comprende una alteración térmica u otra.

En primer término la propuesta se desarrolló para el control de la producción de áridos en forma individual y en donde se consideraba que el árido a utilizar en la mezcla de diseño de pavimentos flexibles era resultado de la mezcla de productos individuales; no obstante lo anterior, resultado del análisis conceptual y en base a que la norma UNE-EN 13043:2003 tiene validez en la aplicación de los áridos combinados, se considera que la propuesta puede ser aplicada como una alternativa para la declaración de los áridos combinados a utilizar en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales, pero sin dejar de lado que para disminuir la variabilidad de los mismos se debe controlar cada uno de los parámetros a los áridos individuales a combinar.

4.3. Estructura

La presente propuesta se presenta en un cuerpo principal, el cual se divide en dos grandes grupos siendo los “requisitos para los áridos gruesos y finos” y los “requisitos para el polvo mineral (filler)”. Independiente del tipo de árido a considerar, existe una descripción clara referente a la evaluación de conformidad, donde se establece además que los productores deberán cumplir con todas las normativas medioambientales establecidas tanto para las grandes explotaciones, como a su vez para las pequeñas instalaciones.

En complemento se considera un punto referente al marcado y etiquetado de los áridos, siendo una versión homologada de su par original europeo y donde se establece que los fabricantes deberán declarar las características de los productos que pueden producir. Esto permite establecer la necesidad de ensayar y declarar todas las propiedades especificadas en por cada uno de los requisitos dependiendo del uso final o del origen del árido.

La estructura de cómo se debe informar el valor de una propiedad, es que el fabricante deberá declarar el valor como categoría $XX_{\text{declarada}}$, por ejemplo en el caso del Azul de Metileno, un valor de 35 [g/kg] corresponde a MB_{F35} (valor declarado). El caso que el uso final no requiera de este requisito se podrá emplear una categoría “Sin requisitos”.

4.3.1 Requisitos Áridos Gruesos y Áridos Finos

En Chile, la diferencia entre árido grueso y fino es determinada por la tamiz de corte 2,5 [mm], y donde además es importante establecer que el set de tamices para su descripción granulométrica se realiza en base a la serie nacional establecida en el Manual de Carreteras Volumen 8 sección 8.202.3 Tabla 8.202.3.A.

Los requisitos establecidos por la propuesta de normativa para los áridos gruesos y finos, son del tipo geométricos, físicos y químicos, para de esta forma el fabricante declarar cuales son los valores que cumplen sus materiales para cada uno de dichos requisitos.

Dentro de los requisitos geométricos considerados por la propuesta se encuentra el tamaño de los áridos, siendo el más relevante puesto en el cual se basan prácticamente todos los requisitos tanto geométricos, físicos y químicos. Es importante establecer que se debe declarar tanto el tamaño máximo del agregado (D), como su tamaño mínimo (d) y que difieren de los conceptos de tamaño nominal establecido en recomendaciones nacionales. Esto se debe a que de esta forma no se condicionan los valores de desclasificados superiores e inferiores, permitiendo producir materiales que puedan ser utilizados en mezclas bituminosas del tipo Super Pave y del tipo Europeo específicamente mezclas de origen Francés.

Tabla 3. Requisitos áridos gruesos y finos

Categoría	Propiedad	Notas/ referencias	Norma	Frecuencia mínima de ensayo
Requisitos geométricos áridos gruesos y finos				
<i>G</i>	Granulometría		NCh 165	1 por semana
<i>f</i>	Contenido de finos		NCh 1223	1 por semana
<i>MBF / EA</i>	Calidad de los finos	Azul de Metileno/EA	UNE-EN 933-9/ NCh 1325	2 por año
<i>IL</i>	Forma del árido grueso	Frecuencia para Áridos chancados. Para rodados esta puede disminuir.	M.C.V8 8.202.7	1 por mes
<i>C / L_T</i>	Porcentaje de chancado del árido grueso	Sólo para árido grueso	M.C.V8 8.202.6	1 por mes
<i>E_{cs}</i>	Angularidad del árido fino	Sólo para áridos finos	UNE-EN 933-6	1 por mes
Requisitos físicos áridos gruesos y finos				
<i>LA</i>	Resistencia a la fragmentación del árido grueso	Desgaste de los Ángeles	NCh 1369	1 por año
<i>PSV</i>	Resistencia al pulimento acelerado	Sólo para áridos utilizados en capas de rodadura	UNE-EN 1097-8	1 por año
<i>M_{DE}</i>	Resistencia a la degradación por abrasión del árido grueso	Coefficiente de micro-Deval	M.C.V8 8.202.22	1 por año
<i>SB_{LA}</i>	Sonnenbrand del basalto	En los casos dudosos, cuando se tenga conocimiento de indicios de Basalto.	UNE-EN 1367-3 y NCh 1369	2 por año
<i>WA</i>	Absorción de agua	Áridos gruesos Áridos finos	NCh 1117 NCh 1239	1 cada 2 años
<i>F</i>	Resistencia a los ciclos de hielo y deshielo		ASTM C 666 UNE-EN 1367-1	1 cada 2 años
<i>NS/MS</i>	Sulfato de Sodio y Magnesio		NCh 1328	
<i>declarar</i>	Resistencia al choque térmico		UNE-EN 1367-5	1 por año
Requisitos químicos áridos gruesos y finos				
<i>declarar</i>	Composición química		UNE-EN 932-3	1 cada 5 años
<i>declarar</i>	Contaminantes ligeros	Árido con D> 2,5 [mm] en caso de duda	UNE-EN 1744-1	1 por año
<i>declarar</i>	Contenido de sales solubles		M.C.V8 8.202.14 NCh 1444/1	1 por año
<i>declarar</i>	Sustancias nocivas en especial ^(a)	^a Pueden ser: Emisión de radioactividad liberación de metales pesados		Cuando se requiera, y en caso de duda

4.3.2 Requisitos Polvo Mineral (Filler)

La propuesta para el caso del polvo mineral (filler) se desarrolla sólo con los antecedentes recopilados en la etapa uno del proyecto y no se realizaron experiencias de terreno sobre la misma. A pesar de lo anterior tiene como base teórica las recomendaciones establecidas en el Manual de Carreteras Chileno Volumen 8. Los requisitos expuestos son del tipo geométrico, físico, químico y homogeneidad de la producción del polvo mineral.

Tabla 4. Requisitos polvo mineral (filler)

Categoría	Propiedad	Notas/ referencias	Norma	Frecuencia mínima de ensayo
Requisitos geométricos del polvo mineral (filler)				
<i>G</i>	Granulometría		M.C.V8 8.202.5	1 por semana
<i>MBF / EA</i>	Calidad de los finos	Azul de Metileno/EA	UNE-EN 933-9/ NCh 1325	2 por año
Requisitos físicos del polvo mineral (filler)				
<i>declarar</i>	Contenido en agua		UNE-EN 1097-5	2 por semana
<i>declarar</i>	Densidad de partículas		M.C.V8 8.402.1	2 por año
$\Delta_{R\&B}$	Propiedades de rigidez	Incremento de anillo y bola	UNE-EN 13179-1	2 por año
Requisitos químicos del polvo mineral (filler)				
<i>WS</i>	Solubilidad en agua		UNE-EN 1744-1, Capitulo 16	1 cada 2 año
<i>declarar</i>	Susceptibilidad al agua		UNE-prEN 1744-4	1 cada 2 año
<i>Ka</i>	Contenido de hidróxido de calcio		UNE-EN 459-2	1 por año
<i>Declarar</i>	Afinidad a los ligantes bituminosos		M.C.V8 8.302.29 M.C.V8 8.302.30 M.C.V8 8.302.31	1 por año
Requisitos homogeneidad de la producción del polvo mineral (filler)				
<i>declarar</i>	Densidad de partículas	Homogeneidad de la producción de polvo mineral	M.C.V8 8.402.1	1 por semana
<i>declarar</i>	Densidad aparente		M.C.V8 8.402.1	1 por semana
<i>declarar</i>	Ensayo de Blaine		NCh 159	1 por semana

4.3.3 Anexos

La propuesta tiene cuatro anexos, donde el Anexo A tienen como título “Personal residente técnico/profesional” y es donde se establecen las competencias mínimas del personal residente que debe estar siempre presente en la planta de tratamiento de áridos. Se presenta además la forma de clasificar los tipos de plantas en función de sus ventas (directas e indirectas) y producción teórica.

El Anexo B tienen como título “Buenas Prácticas” y establece parte de las buenas prácticas ambientales, de seguridad y salud, que deben cumplir los fabricantes, en cada una de las partes de la explotación, tratamiento, traslado y abandono de la faenas. Las buenas prácticas se basan en el desarrollo sustentable, con políticas claras sobre la materia y donde siempre exista por parte del fabricante, dar las facilidades para una correcta fiscalización, requerida por cualquiera de las entidades gubernamentales competentes.

Cabe destacar que a la fecha no existe manual o normativa referente a las buenas prácticas a nivel nacional que rija al sector de los áridos, por lo tanto de existir en el futuro algún documento técnico local acreditado sobre la materia deberá ser cumplido en su totalidad.

El anexo C tiene como título “Control de Producción en Planta de Tratamiento de Áridos” y establece el sistema de control de producción en planta de tratamiento de áridos para asegurar que los áridos cumplan con los requisitos establecidos por esta norma. Dentro de este anexo además se establece el funcionamiento del sistema de control de producción.

El anexo D tienen como título “Orientaciones sobre la resistencia de los áridos a los ciclos de hielo y deshielo”, siendo el mismo una adaptación informativa del ANEXO A de la Norma Europea UNE-EN 13043. En este se presenta que la susceptibilidad de un árido al deterioro causado por la acción de ciclos de hielo y deshielo dependerá fundamentalmente del clima, el uso final, el tipo de petrográfico y de la distribución de los poros de las partículas del árido.

4.3.4 Marcado de los Áridos

Uno de los objetivos específicos de esta propuesta es la implementación del marcado de los áridos homologado a su versión original europea. Este marcado permite a los clientes solicitar materiales certificados en ciertos requisitos y de esta forma regula de mejor forma la competencia entre productos al poder comparar calidades en cada uno de los requisitos expuestos por dicho producto. Además no es excluyente con los fabricantes que tengan productos de menor calidad en ciertos requisitos, pero que para ciertas mezclas puede ser utilizado sin inconvenientes. A continuación se presenta una

ficha ejemplo tipo de cómo deberían ser declarados un árido grueso por un fabricante, donde se logra uno de los puntos más importantes en esta propuesta que es la trazabilidad de los productos y de esta forma un control real de la variabilidad de las materias primas utilizadas en los pavimentos flexibles.

Tabla 5. Ejemplo de información del futuro mercado nacional para áridos gruesos

Logo Fabricante		
Razón social Fabricante y Rut		
Dirección casa matriz y sucursal (p.ej P ₃), fono atención al cliente		
<i>N° y fecha guía de despacho SII</i>		
Número de la Norma Chilena		
<i>Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales</i>		
Descripción del producto e información de las características reglamentarias		
Tamaño de las partículas	Designación y categoría de tolerancia	(d/D) y p.ej., G _{C85/20} (p.ej., G _{25/15})
Densidad de las partículas		
Densidad superficialmente seca	Valor declarado	(Kg/m ³)
Densidad real seca	Valor declarado	(Kg/m ³)
Densidad aparente compactada	Valor declarado	(Kg/m ³)
Densidad aparente suelta	Valor declarado	(Kg/m ³)
Contenido de finos		
Limpieza	Categoría	(p.ej., f _{0,5})
Azul de metileno	Categoría	(p.ej., MB _F NT)
Equivalente de arena	Categoría	(p.ej., EA NT)
Afinidad a los ligantes bituminosos		
Método estático	Valor declarado	% de recubrimiento de betún
Mediante carbonato de sodio (Riedel – Weber)	Valor declarado	(p.ej., 0-5)
Método Dinámico	Valor declarado	(p.ej., Adherencia buena)
Forma de las partículas	Categoría	(p.ej., IL ₁₀)
Porcentaje de chancado	Categoría	(p.ej., C _{90/10})
Porcentaje de lajas	Categoría	(p.ej., L _{T5})
Angularidad de los áridos finos	Categoría	(p.ej., E _{cs} NR)
Resistencia a la fragmentación	Categoría	(p.ej., LA ₃₀)
Resistencia al pulimento y abrasión		
Coficiente de pulimento acelerado	Categoría	(p.ej., PSV ₅₀)
Coficiente de degradación por abrasión (Micro-Deval)	Categoría	(p.ej., M _{DE} 35)
Composición / contenido	Valor declarado	Descripción
Durabilidad		
Hielo y deshielo	Categoría	(p.ej., F ₁)
Absorción de agua	Categoría	(p.ej., WA ₁)
Sulfato de sodio	Categoría	(p.ej., NS _{2,5})
Sulfato de magnesio	Categoría	(p.ej., MS ₅)
Choque térmico	Valor declarado	(p.ej., V _{LA})
Meteorización (Sonnenbrand)	Categoría	(p.ej., SB _{LA})
Presencia de sustancias nocivas ^a	Valor declarado	Descripción

^a Emisión de radioactividad, liberación de sustancias peligrosas, metales pesados por lixiviación y/o carburos poliaromáticos, contaminación por lixiviados, otros.

5. Conclusiones

De la transferencia tecnológica generada por el trabajo asociado entre Empresa – Universidad, se logra la generación de una propuesta de normalización referente a los áridos utilizados en mezclas bituminosas y tratamientos superficiales y donde la misma contempla la implementación de las recomendaciones de las buenas prácticas para lograr una administración ecológica en la industria.

El desarrollo de la propuesta de normalización es un primer lineamiento sobre la materia, que se entrega y se presenta para poder calibrarse en el tiempo con la opinión de diferentes actores que se unan para el desarrollo del sector de los áridos en Chile y donde se espera a futuro tener un sistema asociado donde los fabricantes puedan aportar en la mejora de las normas y distintos lineamientos tanto ambientales, la seguridad y la salud laboral

La implementación de una normativa en el área permite mejorar sustancialmente la calidad de las obras viales, no obstante lo anterior, se requiere profesionalizar el rubro de los áridos donde la ingeniería debe hacerse presente y cargo de esta área, considerando la importancia y nivel de participación de este material en las obras civiles.

La aplicación de un sistema de marcado permite a los proyectistas contar con información clara para sus diseños, donde la implementación de este permite asegurar la competencia y condiciones de los productores, situación que en la actualidad no se cumplen y la cual se ve amplificado considerando la no existencia de una norma específica y sólo la aplicación de recomendaciones.

Resultado de la experiencia de campo realizadas en la planta de tratamiento de áridos de la empresa Najar se pudo verificar la posibilidad real de aplicación de las definiciones y requisitos presentados en la normativa europea UNE-EN 13043:2003, lo anterior, es un indicador que existe la capacidad instalada en equipamiento para poder cumplir este tipo de requerimientos. Es importante destacar que las modificaciones en las líneas de producción fueron de carácter menor, no obstante las mejoras en la calidad y variabilidad de los productos terminados fueron considerablemente positivas lo cual se reflejó directamente en una valorización del producto.

En el caso específico de los requisitos de las series de desclasificados superiores de 10% (Gc 90), como las de 15% (Gc 85), se pudo verificar pueden ser cumplidas si se cuenta en las líneas de producción con chancadores secundarios de cono, no así en los casos donde sólo se cuenten con chancadores de mandíbula o de trituración, considerando que estos equipos no permiten generar bandas granulométricas estables entre otros parámetros.

En lo referente a la optimización del recurso del agua, se hace altamente necesario seguir trabajando en la materia, perfeccionando las tecnologías existentes y desarrollando nuevos sistemas que permitan mejorar los ya diseñados. Dentro de esta línea, es importante establecer que para el caso de la industria de los áridos que utiliza agua en su proceso, es indispensable la instalación de una planta de tratamiento de riles adecuada para el correcto cumplimiento del DS 90/00, norma chilena para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales y/o el DS 46/02 norma chilena de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.

En complemento, se ha podido apreciar que nuevas empresas nacionales están interesadas en la administración ecológica en el tratamiento de los áridos, lo anterior, demuestra que se ha comenzado tomar conciencia del impacto ambiental y social real del rubro, donde la generación de bienes ambientales debe transformarse en parte importante dentro de la línea de explotación y producción de agregados. Generar buenas prácticas nacionales sobre la calidad, el medio ambiente y la seguridad no es una tarea individual del rubro, sino una labor compartida donde es fundamental la asociación tanto de los productores como entidades tecnológicas de formación de prestigio, lo cual se debe reflejar en la generación a corto plazo de comités técnicos donde se definan las bases de la normalización de la explotación y producción de áridos utilizados en mezclas bituminosas y tratamiento superficiales Chile.

6. Referencias

- DIRECCIÓN DE VIALIDAD MOP, GOBIERNO DE CHILE, Manual de Carreteras, Volumen N°8; Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control. 2008.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, GOBIERNO DE CHILE, Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación” Versión 2008.
- ANEFA - AEN/CTN 146, ESPAÑA, Norma Europea UNE-EN 13043 Áridos para mezclas bituminosas y tratamiento superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas, 2003.
- MINSEGPRES, GOBIERNO DE CHILE, Norma DS 90/00, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, 2000.
- MINSEGPRES, GOBIERNO DE CHILE, Norma DS 46/02, Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, 2002
- SOC. CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS NAJAR LTDA., Registro autocontrol calidad de aguas según resultados históricos de operación de la Planta Prototipo DPNJ - 15 (E) - planta de tratamiento de áridos sector Butalcura , 2011.