

Co-Procesamiento de Residuos de Producción de Concreto de la Planta Cemex Ibagué

Wilfredo Fernandez

Asesor

Lida Margarita Zambrano Cortes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI Ingeniería Industrial

Ingeniería Industrial

2024

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un estudio para implementar el plan de Co-Procesamiento de residuos de producción de concreto en la planta Cemex Ibagué. Esta planta tiene una capacidad de producción de 10.000 m³ de concreto, destinada a atender el mercado local y sus alrededores. Actualmente, los RCD o RPC (residuos de producción de concreto) que se generan del proceso de producción de concreto se envían a disposición final.

Con el objetivo de lograr una producción más amigable con el medio ambiente y buscar oportunidades de ahorro, surge la iniciativa de realizar un Co-Procesamiento de estos residuos. Para llevar a cabo esta iniciativa, se estructura un plan de Co-Procesamiento para la planta Cemex Ibagué. El desarrollo del plan comienza con la caracterización de los residuos de producción de concreto y los subprocesos que los generan. Luego, se realiza un análisis de la cantidad de residuos enviados a disposición final desde 2023 hasta mayo de 2024, junto con sus respectivos costos de disposición final y los costos asociados a la implementación del plan de Co-Procesamiento.

Se analiza a los proveedores de la planta de concreto Cemex Ibagué para identificar cuáles pueden cumplir con los requisitos del proceso de Co-Procesamiento de los residuos de producción de concreto. De este análisis, se define al proveedor Bellavista por las características de su proceso y su disponibilidad para realizar el Co-Proceso.

Con la autorización del área de sostenibilidad de Cemex y la colaboración del área de abastecimiento de empresa, se logra negociar un flete por tonelada para transportar los residuos. Posteriormente, se lleva a cabo un plan piloto con un viaje de residuos, en la que se mezclan los residuos con crudo de río en proporciones del 20% y 15%. Los resultados de los análisis granulométricos de la arena generada determinaron que la mezcla óptima es de un 15% de

residuos de producción de concreto con un 85% de crudo de río. De esta manera, la arena resultante del Co-Proceso cumple con las características físicas señaladas en la NTC 174.

Finalmente, se estructura el plan de Co-Procesamiento para ser presentado a la empresa Cemex.

Palabras clave: Co-Proceso, residuos, crudo, proceso, planta.

Abstract

In this work, a study is developed to implement the Co-Processing plan for concrete production waste at the Cemex Ibagué plant. This plant has a production capacity of 10,000 m³ of concrete, intended to serve the local market and its surroundings. Currently, the waste generated in the production process is sent to final disposal.

With the aim of achieving a more environmentally friendly production and seeking savings opportunities, the initiative to carry out Co-Processing of this waste arises. To carry out this initiative, a Co-Processing plan is structured for the Cemex Ibagué plant. The development of the plan begins with the characterization of concrete production waste and the subprocesses that generate it. Then, an analysis of the amount of waste sent to final disposal is carried out from 2023 to May 2024, along with their respective final disposal costs and the costs associated with the implementation of the Co-Processing plan.

The suppliers of the Cemex Ibagué concrete plant are analyzed to identify which ones can meet the requirements of the Co-Processing process of concrete production waste. From this analysis, the supplier Bellavista is defined by the characteristics of its process and its availability to carry out the Co-Process.

With the authorization of Cemex's sustainability area and the collaboration of the company's supply chain, it is possible to negotiate a freight rate per ton to transport the waste. Subsequently, a pilot test is carried out with a waste trip, in which the waste is mixed with river crude oil in proportions of 20% and 15%. The results of the granulometric analyzes of the generated sand determined that the optimal mixture is 15% concrete production waste with 85% river crude oil. In this way, the sand resulting from the Co-Process complies with the physical characteristics indicated in NTC 174.

Finally, the Co-Processing plan is structured to be presented to the Cemex company.

Keywords: Co-Process, waste, crude oil, process, plant.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar gracias a dios por darme la sabiduría para desarrollar este trabajo y mi carrera en general, me ha dado la dedicación, la perseverancia, las ganas de seguir adelante ya que en algunos momentos quise desistir y abandonar.

En segundo lugar, quiero dar gracias a mi madre Lucila Cabrera, D. P. D; esta persona fue mi ejemplo de inspiración, amor incondicional, fue mi apoyo en todo momento, su memoria me incita a ser mejor persona y un excelente profesional.

Agradezco a mi familia mi esposa y mis tres hijas que me han apoyado incondicionalmente en todo este proceso para el desarrollo de este trabajo, fueron días largos al igual que noches en las que les quite tiempo de compartir con ellas, pero gracias por entender.

En cuarto lugar, a la ingeniera Lida Margarita Zambrano mi directora de proyecto quien gracias a su orientación, paciencia y conocimiento logre sacar adelante este trabajo,

Agradezco a la ingeniera Natalia Molina por su acompañamiento, su gestión, liderazgo y dedicación en todo momento, fue un gran apoyo en el desarrollo del trabajo y de mi carrera de ingeniería.

Cordialmente

Wilfredo Fernandez

Tabla Contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 13 |
| Planteamiento del Problema | 15 |
| Justificación | 17 |
| Objetivos | 21 |
| Objetivo General | 21 |
| Objetivos Específicos..... | 21 |
| Metodología | 22 |
| Marco de referencia | 25 |
| Estado de Arte..... | 25 |
| Marco Contextual..... | 26 |
| Marco Teórico..... | 29 |
| Definición de RCD | 29 |
| Marco Conceptual..... | 34 |
| Economía Circular | 34 |
| Concreto | 35 |
| Marco Normativo..... | 37 |
| Estudio de los Residuos de Producción de Concreto (RPC) de la planta CEMEX de Ibagué | 42 |
| Descripción del Proceso en General | 42 |
| Cantidad de Residuos de Producción de Concreto | 43 |
| Clasificación de los Residuos por Fuente | 49 |
| Retrabajos | 49 |
| Limpieza de equipos (Camiones Revolvedores, Bombas, Cargadores) | 50 |

| | |
|--|----|
| Viajes devueltos | 50 |
| Análisis de la fase 1 “diagnostico, cantidad y características de los residuos de producción de concreto” | 51 |
| Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Concreto Planta Cemex Ibagué | 53 |
| Diagrama de Proceso de producción de concretos y generación de Residuos, con disposición final de los residuos. | 53 |
| Diagrama de Proceso de producción de concreto con implementación de Co-Proceso | 54 |
| Caracterización de procesos..... | 55 |
| Proceso de Producción..... | 55 |
| Proceso de Control de Calidad..... | 58 |
| Subproceso de Limpieza de Camiones Revolvedores y Bombas para Concreto..... | 63 |
| Subproceso de Acopio y Retiro de Residuos de Producción de Concreto | 66 |
| Análisis de la fase 2 “diagramas de flujos y fichas de subprocesos de planta Cemex Ibagué” | 69 |
| Eficiencia y Análisis del Costo Beneficio del Procesamiento de Residuos de Concreto de Planta CEMEX Ibagué..... | 70 |
| Descripción del Proceso Actual | 70 |
| Descripción del Co-Proceso..... | 73 |
| Indicadores de Eficiencia | 76 |
| Análisis de la Fase 3 “análisis costo beneficio del Co-Proceso frente al proceso actual” | 78 |
| Proveedores de planta Cemex Ibagué | 79 |
| Caracterización de los Proveedores | 79 |
| Triturados del Rio Saldaña (TRS)..... | 79 |
| Gravillera Bellavista | 81 |

| | |
|--|-----|
| Agregados Nacionales | 83 |
| Análisis de Proveedores | 85 |
| Análisis de la fase 4 “descripción e identificación de los proveedores de planta Ibagué” | 86 |
| Prueba Piloto de implementación del Co-Procesamiento mediante viaje de prueba..... | 87 |
| Selección de la Muestra Representativa | 87 |
| Viaje de Prueba..... | 88 |
| Co-Proceso del Material | 90 |
| Caracterización del material Primer Prueba | 91 |
| Análisis de la Primer Prueba..... | 93 |
| Ajustes y Conclusiones de la primera Prueba..... | 93 |
| Caracterización del material Segunda Prueba..... | 94 |
| Análisis de la Segunda Prueba..... | 95 |
| Análisis de la Fase 5 “prueba piloto de Co-Procesamiento” | 95 |
| Plan de Co-procesamiento para la planta Cemex de Ibagué..... | 96 |
| Conclusiones | 98 |
| Bibliografía | 100 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Guía para la Elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015.....</i> | 30 |
| Tabla 2 Registro del Año 2023 de la Cantidad de Residuos de Producción de Concreto | 44 |
| Tabla 3 <i>Registro del Año 2024 de la Cantidad de Residuos de Producción de Concreto.....</i> | 44 |
| Tabla 4 <i>Volumen de Concreto Mes a Mes del Año 2023</i> | 45 |
| Tabla 5 Volumen de Concreto Mes a Mes del Año 2024..... | 45 |
| Tabla 6 <i>Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada con la Cantidad Mensual por el Año 2023.....</i> | 71 |
| Tabla 7 <i>Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada con la Cantidad Mensual por el Año 2024.....</i> | 71 |
| Tabla 8 <i>Costo de Disposición Realizando el Co-Proceso para el Último Trimestre del 2024 ...</i> | 74 |
| Tabla 9 <i>Costo de Disposición con el Modelo Actual y el Co-Proceso para el Año 2023</i> | 75 |
| Tabla 10 <i>Tabla de Limites Granulométricos de la Arena para Producción de Concreto.....</i> | 92 |
| Tabla 11 <i>Tabla de Limites Granulométricos Obtenidos en la Prueba Piloto</i> | 92 |
| Tabla 12 <i>Tabla de Limites Granulométricos Obtenidos en la Prueba Piloto</i> | 94 |
| Tabla 13 <i>Ensayo de la Densidad de la Arena.....</i> | 95 |
| Tabla 14 <i>Planta de Co-Procesamiento para la Planta de Concreto Cemex Ibaguè</i> | 97 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Gráfico de Barras el Cual Representa la Generación de Residuos Mes a Mes para el Año 2023</i> | 46 |
| Figura 2 <i>Gráfico de Barras el cual Representa la Generación de Residuos Mes a Mes para el Año 2024</i> | 46 |
| Figura 3 <i>Gráfico de Barras el Cual Representa la Producción de m³ de Concreto para el Año 2023</i> | 47 |
| Figura 4 <i>Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de m³ de Concreto para el Año 2024</i> | 47 |
| Figura 5 <i>Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de Residuos en Función de Metros Cúbicos de Concreto Año 2023</i> | 48 |
| Figura 6 <i>Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de Residuos en Función de Metros Cúbicos de Concreto Año 2024</i> | 48 |
| Figura 7 <i>Imagen de Concreto Después del Proceso con ISOCYCLE</i> | 51 |
| Figura 8 <i>Diagrama de Proceso de Producción de Concreto</i> | 53 |
| Figura 9 <i>Diagrama de Proceso de Producción de Concreto con Implementación de Co-proceso</i> | 54 |
| Figura 10 <i>Ficha de Proceso de Producción de Concreto</i> | 56 |
| Figura 11 <i>Ficha de Proceso de Control de Calidad</i> | 59 |
| Figura 12 <i>Ficha de Subproceso de Limpieza de Camiones Revolvedores y Bombas</i> | 64 |
| Figura 13 <i>Ficha de Subproceso de Recolección y Acopio de Residuos</i> | 67 |
| Figura 14 <i>Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada</i> | 70 |
| Figura 15 <i>Grafica de la Cantidad de Residuos Versus Costo Disposición para el Año 2023</i> | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura 16 <i>Grafica de la Cantidad de Residuos Versus Costo Disposición para el Año 2024</i> | 72 |
| Figura 17 <i>Grafica de la Cantidad de Residuos del 2023 y el 2024 y sus Costos Disposición en las Dos Figuras (proveedor actual-Co-Proceso)</i> | 76 |
| Figura 18 <i>Imagen de Google Earth de la Ubicación de la Planta de TRS y Ruta Hacia Planta Ibague</i> | 80 |
| Figura 19 <i>Imagen de la Planta de TRS</i> | 81 |
| Figura 20 <i>Imagen de Google Earth de la Ubicación de la Planta de Bellavista y Ruta Hacia Planta Ibague</i> | 82 |
| Figura 21 <i>Imagen de la Planta de Bellavista</i> | 83 |
| Figura 22 <i>Imagen de Google Earth de la Ubicación de la Planta de Nacionales y Ruta Hacia Planta Ibague</i> | 84 |
| Figura 23 <i>Imagen de la Planta de Nacionales</i> | 85 |
| Figura 24 <i>Imagen de la Muestra Conformada en Planta para el Viaje de Prueba</i> | 88 |
| Figura 25 <i>Imagen del Cargue del Vehículo Cargado en Planta</i> | 89 |
| Figura 26 <i>Imagen del Vehículo Descargando en Planta del Proveedor</i> | 90 |
| Figura 27 <i>Imagen cono de Producción</i> | 91 |

Introducción

El sector de la construcción tiene gran importancia a nivel mundial, ya que es uno de los motores de reactivación económica al generar empleo, mejorar el nivel de vida de las personas, incentiva el crecimiento urbano, promover la sostenibilidad, diversificar las estructuras y satisfacer la necesidad de vivienda. En el caso de Colombia, el sector de la construcción contribuye al crecimiento, desarrollo y empleo de los colombianos. Hasta mediados de 2022, aproximadamente el 13,4% de la población del país dependía directamente de la construcción, lo que equivale a 1 millón 545 mil personas. No obstante, este crecimiento también ha traído consigo un problema: el manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD), ya que no se contaba con los lugares adecuados para su disposición, lo que resultaba en su depósito en calles, lotes baldíos y vertederos clandestinos, causando contaminación del aire, suelo y agua, así como riesgos para la salud ocasionados por la presencia de lixiviados orgánicos.

En la ciudad de Ibagué, esta problemática persiste y tiende a agudizarse, dado que solo cuenta con un sitio para la disposición de estos RCD, lo que ha generado deterioro ambiental y paisajístico. En este contexto, se presenta el proyecto de procesamiento de los residuos de producción de concreto (RPC) para la planta de Cemex en Ibagué. Esta planta, con más de 20 años de operación en la ciudad, se dedica a la producción de diversos tipos de concretos adaptados a las necesidades locales, con resistencias que van desde 70 Kg/Cm² hasta 800 Kg/Cm². Durante este proceso, se generan residuos de materiales, como materias primas o productos terminados, en las distintas etapas. Se han identificado tres tipos de residuos: pérdidas de materia prima durante el cargue, concreto en estado fresco y endurecido, y finos residuales de la limpieza de las ollas de los camiones transportadores. Estos residuos presentan desafíos de manejo debido a la falta de opciones de disposición en la ciudad, limitándose a un único

botadero autorizado. Ante esta problemática, surge la idea de someter estos residuos a un proceso para extender su vida útil y reintroducirlos en el ciclo como materia prima. El proyecto busca llevar estos residuos a un proveedor de materias primas (arenas y gravas) para procesarlos y convertirlos en arena y grava que pueda ser utilizada de manera controlada y sostenible en el proceso de producción de concreto.

Planteamiento del Problema

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son un problema global debido a su volumen significativo, su gestión inadecuada y su impacto ambiental negativo. La generación masiva de RCD, compuesta por materiales como concreto, madera, metal y plástico, conlleva a la saturación de vertederos, la contaminación del agua y el suelo, emiten gases de efecto invernadero. La falta de una infraestructura adecuada para la disposición y reciclaje de estos residuos contribuye a la pérdida de recursos valiosos y a la degradación del entorno urbano y rural, afectando la salud pública y las condiciones de vida de las comunidades. Abordar este problema requiere estrategias integrales que promuevan la reducción en la generación de RCD, la reutilización y el reciclaje de materiales, y la implementación de políticas y regulaciones efectivas para una gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición.

En Colombia más de 18000 proyectos constructivos de edificaciones nuevas hablan de un incremento en el sector de la construcción de un 17,7% para el año del 2022, al tener un alto índice de construcción así mismo será la generación de RCD (CAMACOL, 2021).

En el país se producen alrededor de 22 millones de toneladas de RCD al año y se ha puesto la meta de que los constructores o todo aquel que genere estos RCD aprovechen un porcentaje mínimo del 2% del peso total de los materiales utilizados en obra de esta forma se garantiza que un porcentaje vuelva a ser utilizado en la fuente de generación, desde el ministerio del medio ambiente se viene trabajando en esa iniciativa per se ha encontrado grandes inconvenientes, uno de estos inconvenientes es el de no contar con los espacios en donde manejar este tipo de residuos, otra de estas ha sido que no se tiene un gestor de estos residuos y la más repetitiva es el costo de realizar la disposición en un sito autorizado (Minambiente, pagina ministerio del medio ambiente, 2024).

Al enfocarnos en el ámbito regional, la ciudad de Ibagué enfrenta la ausencia de una empresa que pueda realizar el manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD), situación que afecta particularmente a la planta de Cemex Ibagué, especializada en la producción de concreto y generadora de residuos en su proceso productivo. Durante varios años, los residuos de producción de concreto de esta planta se han depositado en la escombrera de Ibagué Limpia, con un promedio mensual de envío desde la planta de aproximadamente 300 toneladas. Esta práctica no solo representa una carga ambiental significativa para la ciudad debido a la falta de un proyecto de procesamiento para estos residuos, sino que también implica un costo considerable para la planta. Como una posible solución, surge la propuesta de implementar un proyecto de procesamiento específico para los residuos de la planta Cemex Ibagué.

De acuerdo con lo anterior se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo desarrollar un plan de procesamiento de residuos de concreto en la planta de Cemex Colombia en Ibagué, con el fin de minimizar los impactos ambientales derivados de la gestión de residuos en la industria de la construcción y de igual manera, generar ganancia económica en la reducción de costos y aprovechamiento de material?

Justificación

Los residuos de construcción y demolición se han convertido en un reto a nivel global más de 210 millones de toneladas de residuos de construcción y de (RCD) y un porcentaje cerca al 33% no se manejan de la forma correcta, en cambio se disponen en lugares no autorizados. El gran crecimiento de la urbanización hace que la generación de residuos se ha cada vez mayor y que en 30 años aumente a un en un 70%. En la unión europea (UE) los residuos de construcción y demolición representan aproximadamente el 25 a 30% de los residuos generados por la UE y está conformada por concreto, yeso, ladrillos, madera, vidrio, hierro, acero y otros metales, disolventes, y tierra excavada. Se crea un acuerdo llamado “Waste Framework Directive (2008/98/EC)” la cual dice que los países miembros de la UE para el año 2020 deben utilizar un 10% los residuos de concreto y demolición dentro de sus operaciones de construcción (Europea, 2022).

Brasil es uno de los países que ha adoptado una legislación de los residuos de construcción y demolición muy parecida a la de la unión europea, en este país la legislación dice a los constructores que deben darle manejo a los residuos que generan y los deben clasificar según el tipo de residuo (ladrillo, madera, concreto, cerámica, vidrio, etc) con el fin de dar una disposición adecuada para cada tipo de residuo (Barrientos, 2016).

El Gobierno nacional ha promulgado diversas políticas y normativas orientadas a la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, con el objetivo de garantizar un manejo eficiente que reduzca la generación de residuos en la fuente y promueva su aprovechamiento. Estas medidas buscan fomentar políticas de producción más limpia, proteger los recursos naturales y prevenir, mitigar y compensar los impactos negativos asociados con los proyectos. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, factores como el rápido crecimiento poblacional, la

presencia de vertederos ilegales de escombros, el desarrollo urbano desordenado, los métodos ineficaces de manejo de residuos de demolición y la falta de prevención de impactos negativos en dichos proyectos, entre otros, siguen siendo las principales causas de la problemática relacionada con el manejo deficiente de las demoliciones de edificaciones en el país. Esta situación evidencia que las metas de la política nacional no se han alcanzado completamente y que los avances en gestión y prevención son mínimos, lo que continúa generando graves problemas ambientales y de salud pública.

Las investigaciones llevadas a cabo por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el año 2017, para Bogotá, y las principales ciudades como son Medellín, Cali, Manizales, Cartagena, Ibagué, Barranquilla, entre otras generaron un aproximado de 22 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición – RCD.

La Resolución 472, emitida el 28 de febrero de 2017, se aplica a aquel que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) a nivel nacional. Esta resolución establece medidas para el aprovechamiento y disposición final de los RCD, por medio de facilidades

como puntos limpios y plantas de aprovechamiento. Además, introduce el Programa de Manejo Ambiental de RCD para supervisar el cumplimiento, con obligaciones específicas para los grandes generadores de estos residuos. También fija metas graduales de aprovechamiento de RCD en obras realizadas por grandes generadores, con un objetivo mínimo es el 2% de la cantidad total de los materiales utilizados en la obra (Minambiente, 2024).

La planta de concreto Cemex Ibague produce mensualmente una cantidad aproximadamente de 300 Ton de (RCP) los cuales son entregados a un contratista el cual realiza la disposición en un relleno Ibague limpia ubicado en la vía al corregimiento de San Bernardo a

2 kilómetros del barrio el Salado, La zona está caracterizada por una depresión en el terreno, resultado de la excavación manual de arcillas realizada por el ser humano. Dentro de este espacio existe temporalmente el área designada para la disposición de escombros. Esta área está equipada con una entrada principal, un patio de maniobras y la zona destinada para la disposición de los escombros. Además, se garantiza la conservación de una franja de protección ambiental de 10 metros paralela a la vía existente. En el interior del polígono mencionado previamente se encuentra ubicada el área de disposición (CORTOLIMA, 2010).

La propuesta del procesamiento de los residuos de producción de concreto (RPC) consiste en trasladar estos residuos a las instalaciones de los proveedores de arenas y gravas para concreto, seleccionando aquellos dispuestos a llevar a cabo el proceso y que cuenten con los equipos adecuados. El objetivo del proyecto es reintegrar estos residuos como materias primas, en este caso arena y grava, en una práctica innovadora que convierte un desecho en una materia prima útil para la producción de concreto, prolongando así su vida útil. Para llevar a cabo esta práctica, es necesario realizar una caracterización exhaustiva del residuo para definir sus propiedades físicas y presentarlo al proveedor encargado del Co-proceso, quien determinará su idoneidad para sus equipos y si cumple con las especificaciones de la materia prima. En el proyecto se plantea realizar la mezcla con crudo de río o cantera, teniendo en cuenta las propiedades físicas del material para definir la cantidad y proporción adecuadas, evitando afectar las especificaciones técnicas de las materias primas. Una vez completado el Co-proceso, se obtendrán arenas y gravas con un porcentaje de agregado reciclado de los residuos de producción de concreto, las cuales deben cumplir con los requisitos químicos y físicos para la producción de concreto. Una vez verificado que las materias primas cumplen con los parámetros de calidad requeridos, serán transportadas a la planta para ser utilizadas nuevamente en la producción de

concreto. Este proceso cierra el ciclo de la economía circular, al integrar los residuos generados por el productor de concreto en su propio proceso, lo que resulta en una significativa reducción de emisiones.

Este proyecto está encaminado a contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible, en primera instancia contribuye al objetivo once “Ciudades y comunidades sostenibles” al hacer una disposición correcta de estos residuos podemos descontaminar las ciudades, según el impacto de este objetivo para el 2050 se tendrá alrededor del 70% de la población viviendo en las ciudades, de esta forma toma mucha importancia este tipo de proyecto ya que es una práctica que se puede replicar y de esta forma incentivar la correcta disposición de estos residuos y poder descontaminar las ciudades. El objetivo 12 “producción y consumo responsable” al ver que el planeta se está quedando sin recursos y ver que la minería y la extracción de materiales aluviales contribuyen con el deterioro del planeta tierra, al implementar este proyecto podemos dar un segundo uso a los residuos de producción de concreto y de esta forma evitamos un porcentaje de explotación de estos materiales naturales. Por último, el objetivo 15 “vida de ecosistemas terrestres” actualmente estos residuos son dispuestos en terrenos donde algunos cuentan con las licencias y otros no, en ambas disposiciones se contamina el medio ambiente ya que estos desechos están en contacto con el terreno existente y pueden generar lixiviados que afectan los ecosistemas adyacentes, con la implementación de este tipo de proyectos evitamos que estos residuos lleguen a estos lugares y contaminen los ecosistemas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un plan de aprovechamiento de los residuos de producción de concreto (RPC) de la planta de producción de concreto de Cemex Ibagué, con el fin de minimizar los impactos ambientales derivados de la gestión de residuos en la industria de la construcción.

Objetivos Específicos

Identificar la cantidad de residuos de concreto generados mensualmente en la planta de Cemex Colombia en Ibagué, clasificándola por fuentes de generación y las características de dichos residuos.

Diseñar los diagramas de flujo para el proceso de producción de la planta de concreto Cemex Ibagué donde se aprecie el proceso general de la planta con disposición final y Co-Proceso para los residuos de concreto que se generan en cada uno de los subprocesos que se realizan dentro de la empresa, donde se evidencie el procedimiento del plan propuesto y documentar el procedimiento.

Analizar la eficiencia de procesamiento de residuos de concreto evaluando el costo beneficio frente al proceso que se está ejecutando actualmente con los residuos de producción de concreto en planta de concreto de Ibagué.

Identificar posibles proveedores para la transformación de residuos de producción de concreto en materia prima el cual cuente con los equipos de acuerdo con el tipo de residuo y las especificaciones técnicas de la materia prima.

Realizar plan piloto de implementación mediante un viaje de prueba a las instalaciones del proveedor que se ajuste a los requerimientos normativos y de calidad, validar eficiencia del proceso.

Metodología

Esta metodología buscó no solo abordar la gestión de residuos de producción de concreto, sino también fomentar prácticas en la industria de la construcción que se han amigables con el medio ambiente. Dentro de las iniciativas esta de colaborar con expertos en sostenibilidad y gestión de residuos con el fin de presentar una propuesta para una metodología de investigación mixta propositiva en cinco fases sobre residuos de producción de concreto para la gestión sostenible Enel área de la construcción:

Fase 1: diagnóstico de la cantidad y características de los residuos de producción de concreto generados en la planta de Cemex Ibagué.

- caracterizar de forma general el proceso de fabricación de concreto
- Solicitar el consolidado mensual de la cantidad de residuos de producción

mensual generados por planta Cemex Ibagué.

Análisis de Residuos de Concreto:

- Evaluar la cantidad y clases de residuos de concreto generados en la planta de concreto Cemex Ibagué.

Entregables: tablas de cantidad de residuos, análisis de las tablas, graficas de producción de residuos versus producción de concreto.

Fase 2: Diseño de diagrama de flujo de planta Cemex Ibagué.

- diseñar diagrama de flujo de la fabricación de concreto de planta Cemex Ibagué.
- Diseñar de diagrama de flujo del proceso de producción de concreto de planta

Cemex Ibagué con la implementación del Co-proceso.

Realizar ficha de los subprocesos de planta Cemex Ibagué que generan residuos de producción de concreto.

Entregables: diagramas de flujo con y Co-Proceso, análisis de los subprocesos y fichas de descripción de cada subproceso.

Fase 3: analizar la eficiencia del del Co-Proceso de residuos de producción concreto evaluando el costo beneficio frente al proceso que se está ejecutando actualmente con los residuos de producción de concreto de planta Ibagué.

- caracterizar de forma general del proceso de disposición actual
- Costos de disposición con el proceso actual
- Descripción del Co-Proceso
- Costos del Co-Proceso
- análisis del Co-Proceso

Entregables: tablas de costos del proceso actual y del Co-Proceso

Fase 4: identificar los posibles proveedores para el Co-Procesamiento de los residuos de producción de concreto, este debe contar con los equipos necesarios y que se ajusten al manejo de estos residuos.

- Descripción de los proveedores de materia prima de planta Ibagué que cuenten con el proceso correcto para el manejo de los residuos de producción de concreto.
- Análisis de las distancias, fletes y definir que proveedores serian la mejor opción para la implementación del plan de Co-Procesamiento.
- Definición del proveedor que puede realizar el Co-Proceso.

Entregables: descripción de los proveedores, ubicaciones, ruto gramas, imágenes de las instalaciones.

Fase 5: realizar un viaje de prueba o prueba piloto para identificar posibles oportunidades de mejora, observaciones del proveedor, transportadores y condiciones de los residuos de producción de concreto factibles para el Co-Proceso.

- Seleccionar una muestra representativa de residuos de concreto que tenga un contenido de humedad óptimo para transportar.
- Transportarlo hasta las instalaciones del proveedor y validar condiciones que se deriven del transporte (regueros, tiempos de cargue, limpieza del volc6)
- Realizar el Co-Proceso del material y validar que porcentaje de material se puede recuperar de los residuos de producción de concreto.
- Realizar ensayos de al material recuperado para identificar condiciones físicas y de forma para entregar y que calidad defina en que porcentaje se puede mezclar.

Entregables: Presentar los resultados del viaje de prueba o prueba piloto, análisis físico del material obtenido (Gradación y densidad), registro fotográfico.

Retroalimentación y Ajustes:

- Recoger información del personal de planta del proveedor y tras partes interesadas.
- Realizar ajustes en el plan de gestión sostenible según los resultados y las experiencias obtenidas durante la implementación piloto.

Resultados Esperados:

- Generar un plan de Co-Procesamiento para la generación de residuos que esta se ha de fácil implementación.
- Proponer el plan de Co-Procesamiento a las directivas de la empresa para revisión como una opción de ahorro y frente al proceso actual e iniciativa de economía circular.

Marco de referencia

Estado de Arte

En 2015, la Comisión Europea dio luz verde a un nuevo Paquete de Economía Circular, el cual se centra en cinco áreas estratégicas clave en cuanto a su impacto e importancia para el adelanto económico y social. La Comisión Europea identificó áreas cruciales sobre las cuales consideraba imprescindible intervenir en los próximos cinco años para promover la transición hacia una economía circular en la Unión Europea. Estas medidas, implementadas en su totalidad al finalizar el plan, abordaron aspectos diversos de la vida útil de los productos, desde la planeación, fabricación hasta el consumo, la gestión de residuos y la reintegración de recursos contenidos en los desechos a la economía. Además, se enfocaron en cinco áreas prioritarias definidas por la Comisión: plásticos, desechos alimentarios, materias primas de primera necesidad, construcción y demolición, y biomasa y productos de base biológica (Miteco, 2024).

Dentro de las iniciativas de este país se realiza la instalación de la planta TecRec (Tecnología y Reciclado, S.L) es la primera planta de reciclaje y gestor autorizado de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Madrid. Esta planta fue creada en el año 2000 para el aprovechamiento de 1000 Ton de RCD diarias las cuales están destinadas a la producción de suelo adecuado, suelo tolerable, materiales para bases y subbases y gravas recicladas (TecRec, 2024).

En Colombia, se ha reconocido la importancia de abordar la problemática de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y en ese sentido, el Ministerio del Medio Ambiente ha promulgado la Resolución 1257 del 2021. Esta resolución establece los requisitos para el aprovechamiento y la disposición adecuada de estos materiales. Se prevé un aumento en el

aprovechamiento de los RCD como un porcentaje del peso total de los materiales utilizados en el país. Inicialmente, se espera que este porcentaje sea del 2%, aumentando gradualmente hasta alcanzar al menos el 30% anualmente. El propósito de esta resolución es regular y supervisar a los gestores de RCD, proporcionándoles orientación legal y estableciendo un marco sostenible y legal para la gestión de estos residuos (Minambiente, Resolución 1257, 2021).

Dentro de las plantas más importantes que se tienen en Colombia esta GRECO- ubicada en la autopista Medellín vía Siberia-Cota, Greco busca aprovechar aproximadamente un millón de toneladas al año con el objetivo de sustituir una parte del suministro de material de primera mano proveniente de canteras ubicadas a 100 kilómetros de la capital. Esta iniciativa cobra especial importancia dado que, durante el año 2016, en Bogotá y ciudades aledañas, se generaron aproximadamente 7,5 millones de toneladas de es RCD. Estos residuos son enviados a las escombreras para ser enterrados, donde son enterrados, lo que afecta significativamente su vida útil y contribuye a la acumulación de desechos. El procesamiento de los residuos por parte de Greco no solo ayudaría a reducir la dependencia de materiales vírgenes de las canteras distantes, sino que también contribuiría a mitigar el impacto ambiental negativo asociado con la disposición final de los escombros (ARGOS, 2024)

Marco Contextual

Hoy en día, la industria de la construcción es protagonista en el desarrollo social y económico de las naciones, tiene un gran protagonismo en el desarrollo social y económico de los países, sin embargo, esta actividad también produce una importante cantidad de residuos de construcción y demoliciones (RCD). Estos residuos consisten en materiales de construcción, renovación y procesos de demolición, como concreto, madera, metal y otros componentes.

Dado que estos residuos constituyen una porción de los desechos sólidos, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) es esencial a escala global para reducir el daño ambiental, y el reciclaje de materiales como metal, madera y hormigón ayuda a preservar los recursos naturales, disminuye la necesidad de materias primas que se producen de forma natural lo que a su vez disminuye la explotación de canteras y minas de producción de recursos utilizables en la industria de la construcción. Además, la correcta gestión de los RCD alivia la presión sobre las escombreras, muchas de las cuales están a su máximo nivel o como pasa en muchas ciudades no existen sitios que estén reglamentado para la disposición de estos materiales. Esto no solo contribuye a un entorno más limpio y seguro, sino que también genera beneficios económicos al crear empleos en la industria del reciclaje y reducir costos de construcción adicional trae ahorros para las mismas empresas constructoras ya que parte de estos residuos pueden ser utilizadas en sus proyectos. Promueve la economía circular y asegura el cumplimiento de regulaciones ambientales, mejorando la sostenibilidad y las condiciones de vida en las comunidades.

A nivel global se ha venido trabajando en normas y leyes con el fin de reglamentar y controlar el RCD, esto se debe a que el incremento de la construcción, en la unión europea UE, prohíbe el depositar los RCD reciclables desde 1997, en Alemania se implementa la ley de los ciclos donde dice que los RCD no deben ser vertidos, otras medidas implementadas en la EU son las de impuestos de vertidos con el fin de controlar y poder minimizar el impacto, adecuando zonas de vertido que manejen de la forma correcta estos residuos (Romero, 2006).

En Colombia, los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) son una preocupación creciente debido al rápido desarrollo de las ciudades y el crecimiento de la infraestructura. Estos residuos como concreto, ladrillos, metales, madera y yeso, representan un desafío significativo

para la gestión ambiental. La Resolución 472 de 2017, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece directrices para la gestión de los RCD, promoviendo prácticas de reducción, reciclaje y reutilización de materiales.

A pesar de estos esfuerzos normativos, la implementación efectiva de las políticas enfrenta varios obstáculos. La infraestructura para el manejo y procesamiento de RCD es insuficiente, y la falta de centros de reciclaje especializados dificulta el cumplimiento de las normativas. Además, la conciencia pública sobre la importancia de una gestión adecuada de estos residuos es limitada, lo que complica la implementación de prácticas amigables con el medio ambiente por parte de los generadores de RCD.

La ciudad de Ibagué, Tolima no ha sido ajena a este crecimiento de la construcción y el problema de manejo de los RCD. Desde el año 2017, ha venido implementando una serie de medidas para controlar y reglamentar la disposición de los residuos de construcción y demolición. Se han establecido puntos específicos y adecuados para la disposición de estos residuos, asegurando que no se depositen en áreas no autorizadas que podrían causar daños ambientales. Además, la ciudad ha promovido el reciclaje de materiales de construcción, fomentando el aprovechamiento de residuos de concreto, metal y otros materiales recuperables. También se han realizado campañas de concientización para educar a los ciudadanos y a las empresas constructoras sobre adopción de una correcta gestión de los RCD. Estas acciones forman parte de una de las iniciativas más importante para minimizar la huella ecológica de la industria de la construcción en Ibagué y contribuir a un desarrollo urbano más sostenible y ordenado. La implementación de estas medidas ha sido acompañada de inspecciones y sanciones para asegurar el cumplimiento de las normativas y proteger el medio ambiente local (Ibagué, 2017).

La planta Cemex en Ibagué fue implementada con el fin de producir concreto para las instalaciones de la planta de cemento Diamante en el corregimiento de Payandé, Tolima. Inicialmente, se le conocía como la planta de concreto La Sesenta, debido a su ubicación en la avenida Mirolindo con calle Sesenta.

Desde su implementación, la planta ha operado en la ciudad, atendiendo diversos proyectos en Ibagué, incluyendo proyectos de vivienda, infraestructura vial y cualquier otro que requiera concreto de alta calidad. Sin embargo, según la información recabada, los residuos de concreto generados por la planta han sido dispuestos en botaderos. En ocasiones, estos residuos se utilizaron para el mejoramiento de vías internas de la planta de cemento. En los últimos cuatro años, se han llevado a la escombrera de Ibagué Limpia para su disposición final.

Marco Teórico

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) representan una parte significativa de los residuos sólidos que generan las ciudades, generando preocupaciones ambientales, sociales, culturales y económicas. Este marco teórico proporciona una base conceptual y una revisión de los conceptos sobre la gestión de RCD, nombrando su importancia, normativa, metodologías de manejo, y buenas prácticas a nivel global y en el contexto colombiano.

Definición de RCD

Los RCD son aquellos materiales generados durante las actividades de construcción, renovación, demolición y mantenimiento de estructuras incluidos los de obra menor y reparación domiciliaria. Estos residuos están conformados por varios tipos de desechos o residuos tales como concreto, ladrillos, madera, metales, vidrio, y plásticos. La correcta gestión de estos residuos es crucial para mitigar su impacto ambiental y aprovechar su potencial de reciclaje y reutilización.

Clasificación de los RCD. Estos se clasifican básicamente su procedencia según la UE.

RCD de Nivel 1: estas están constituidos por materiales procedentes de excavación suelos orgánicos y de más materiales que no han sido contaminados con productos utilizados en obras de construcción.

RDC de Nivel 2: estos son lo que se generan regularmente en las actividades de construcción, demolición, actividades de remodelación de viviendas, instalación de servicios públicos y de más obras en las que se generen residuos que estén contaminados de químicos de químicos o sustancias utilizadas en construcción (aditivos, cemento, concreto, etc).

En Colombia según el decreto 2981 del 2013 se catalogan en aprovechables y no aprovechables debido a la gran variedad de residuos que se producen en nuestro país no se clasifican por clases si no por su procedencia y de acuerdo con esta clasificación se define su potencial de aprovechamiento y también indica el manejo que se les debe dar para que estos no pierdan el potencial de ser aprovechados. En la siguiente tabla se muestra la clasificación.

Tabla 1

Guía para la Elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015

| Categoría | Grupo | Clase | Componentes |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|---|
| RCD aprovechables | Residuos mezclados | Residuos pétreos | Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o trozos de roca, baldosín, mortero y materiales esterlies que no pasan el tamiz # 200 de granulometría. |
| | | Residuos finos no expansivos | Arcillas (caolín), limos y residuos inactivos, poco o NP y expansivos que pasen el tamiz # 200 de granulometría. |
| | Residuos de material fino | Residuos finos no expansivos | Arcillas y lodos inactivos con alta cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría |
| | | Residuos no pétreos | Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos. |

| Categoría | Grupo | Clase | Componentes |
|-------------------------|---------------------|---|--|
| RCD no aprovechables | Otros residuos | Residuos de carácter metálico | Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc. |
| | | Residuos orgánicos De socavones | Suelo natural |
| | Residuos peligrosos | 4. Residuos orgánicos | Residuos de vegetación y otras especies bióticas |
| | | 1. Residuos corrosivos, reactivos, Radioactivos, explosivos | Residuos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, y los residuos incluidos en el Anexo I y Anexo II o que presenten las características de peligrosidades descritas en el Anexo III del Decreto 4741 de 2005. |

| Categoría | Grupo | Clase | Componentes |
|-----------|--|---|--|
| | Residuos especiales | No definida | Poliestireno - Icopor, cartón-yeso |
| | | Residuos contaminados con residuos peligrosos | Materiales perteneientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. |
| | Residuos contaminados con otros residuos | | Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos. Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento. |
| | Otros residuos | No definido | Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reusó en las obras. |

Nota. Tabla de clasificación de los residuos de construcción y demolición según su procedencia (Ambiente, 2015).

Marco Conceptual

El marco conceptual proporciona una vista clara para comprender la importancia de la utilización de agregados reciclados en la industria del concreto, así como los desafíos y oportunidades asociados con la gestión de residuos de construcción y demolición.

Los residuos de concreto es el material sobrante de las construcciones de vías, edificios, viviendas y de más estructuras en las que se ve a la implementación de materiales de construcción para modificar, construir o reparar una estructura.

Estos conceptos son fundamentales para abordar la problemática de los residuos de concreto y su procesamiento en planta de Cemex Colombia en Ibagué, como se propone en el proyecto de investigación. A partir de ello, se pueden establecer los siguientes conceptos clave:

sobrantes de concreto, constituidos por viajes devueltos en su gran mayoría por que presentaron alguna alteración en una o varias de sus características físicas especificadas por el consumidor final.

Concreto residual, que contiene el concreto fresco (en estado plástico) u otros sobrantes que provienen de la limpieza de las ollas mezcladoras. El concreto residual comprende aquellos residuos procedentes del lavado de y bombas lanzadoras de concreto y camiones transportadores del mismo.

Otros residuos con menos importancia pero que se deben tener en cuenta: Concreto en estado plástico sobrante del ensayo de asentamiento, y concreto endurecido en forma de cilindros de control de calidad, estas provienen del área de laboratorio los cuales son residuos del control de calidad.

Economía Circular

Según el portal web economía circular (s.f.) define:

La economía circular es un enfoque económico vinculado a la sostenibilidad, cuyo propósito es mantener el valor de los productos, materiales y recursos en la economía el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos. En este modelo, los desechos de unos se transforman en recursos para otros. Al diseñar un producto, es crucial considerar su reutilización o reciclaje. La economía circular busca convertir los desperdicios en materias primas, un principio que los fabricantes deberían adoptar dentro de sus procesos de producción (Circular, 2024).

Concreto

El concreto es una combinación de cemento, grava, arena, aditivos y agua. En su estado líquido, es moldeable, y una vez que se seca, muestra una alta resistencia a la compresión. Se obtiene al mezclar una pasta de cemento con agregados finos y gruesos (ARGOS, 2024)

En España, cada año se generan grandes volúmenes de desechos de concreto provenientes de las plantas de fabricación. Estos residuos representan aproximadamente el 1% de la producción total de concreto, lo que implica un aumento en los costos de producción debido al valor de los áridos descartados y al gasto asociado con su transporte a vertederos autorizados, que son cada vez más limitados.

En España, la producción de concreto preparado alcanzó los 30.764.027 m³ en 2011. Basándonos en esta cifra, se estima que los residuos generados anualmente ascienden a aproximadamente 307.764 m³. Cada vez más plantas de concreto preparado están implementando sistemas de reciclaje. Según datos de la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP), al menos 400 plantas (casi el 20% del total en el país) cuentan con algún tipo de sistema de reciclaje de concreto. Además, alrededor del 95%

de las plantas de fabricación de concreto tienen instalaciones de balsas de decantación para el reciclaje del agua.

Para el mundo es una prioridad el impulsar la economía circular y poder extender la vida útil de los residuos de construcción y demolición uno de los países con mayor gestión con sus residuos de construcción y demolición es Reino Unido, este país para el año 2012 estaba gestionando gran parte de sus residuos de construcción y los emplea en la construcción de infraestructura para el país.

Uno de los pioneros en este proceso de reaprovechar los residuos de construcción y demolición es la empresa SRC Group esta empresa dedicada a la producción de agregados pétreos, esta empresa dentro de su proceso logra incorporar más de 20 millones de toneladas de residuos de concreto y demolición, dentro de sus servicios tienen el barrido de carreteras y barrancos, en estos recogen los residuos y los lleva a sus plantas para incorporarlos en la producción de agregados y granulares.

Esta empresa es una de las más grandes y está ubicada en países importantes a lo largo del mundo, la planta de Nueva York llamada Posillico Materials LLC fundada en 1946 está dedicada en su mayoría al procesamiento de suelos contaminados, cuenta con equipos como tamiz de cribado, lavadora portátil, separadores por densidad y un circuito cerrado de agua. De esta forma logra procesar 300 Toneladas por hora y convertirlas en arenas para concreto y gravas con el mismo fin, también cuenta con plantas en Alemania, Suecia, Australia (GROUP, S.F).

Colombia cuenta con casos prácticos y empresas dedicadas a la recuperación de residuos de concreto y demolición. En Bogotá, específicamente, se encuentra RCD Tunjuelo de la cementera Cemex planta dedicada a la gestión de residuos de construcción y demolición, ubicada en la avenida Boyacá # 72 – 04 Sur. Esta planta procesa y convierte RCD y también alberga la

escombrera Tunjuelo, como parte de una iniciativa para reutilizar estos residuos y minimizar las emisiones. La planta RCD Tunjuelo tiene una capacidad de procesar unas 60 toneladas de residuos por hora, con el objetivo de utilizar el agregado reciclado en sus plantas de concreto en proporciones controladas, evitando así la acumulación de RCD y mitigando su manejo a largo plazo.

Marco Normativo

El marco normativo establece las leyes a nivel mundial que aplican para la generación, acopio, colocación y aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición. Este componente es fundamental ya que proporciona el conocimiento sobre las normas, decretos, acuerdos y requerimientos aplicables a los residuos de producción de concreto RCD, de esta forma se da responsabilidades a los diferentes actores ya se han generadores, receptores o empresas dedicadas al aprovechamiento de los RDC.

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, relativa a los residuos y por la que se derogan ciertas directivas, establece medidas para proteger el medio ambiente y la salud humana en los estados miembros. Además, proporciona directrices para prevenir o reducir los impactos negativos asociados con la generación y gestión de residuos (Benjamin, 2023).

El convenio de Basilea. Este convenio del cual hacen parte 116 países regula el control de movimientos entre fronteras de residuos peligrosos y su eliminación se centra en residuos peligrosos y con alto grado de contaminación, establece las pautas generales para el manejo de los residuos en general. Es el documento más antiguo que existe y que regula el manejo y gestión de los residuos, adicional a esto da las pautas para los contratos de manejo de los desechos peligrosos y el proceso de eliminación o recuperación deben dejar descritos dentro de estos

contratos con el fin de dar la mejor gestión a los residuos y proteger el medio ambiente y la salud de los habitantes de los países miembros (Convention, 1992)

El 40 CFR Parte 261 del Código de Regulaciones Federales de EE. UU. indica y lista los residuos peligrosos bajo la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA). Define los criterios para identificar residuos peligrosos basados en características específicas como inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad, y proporciona listados detallados de residuos peligrosos provenientes de diversas industriales y procesos específicos. Este reglamento es crucial para que los generadores de residuos evalúen adecuadamente sus desechos y los manejen conforme a estrictas regulaciones para proteger la salud pública y el medio ambiente (Martinez, 2005).

En Colombia todas las personas tienen derecho a estar en un medio limpio y sano en el que puedan desarrollarse libremente y poder ejercer sus actividades sin ninguna limitación, por esta razón la legislación nacional brinda la oportunidad de estar presente en las decisiones del país que pueden afectar de alguna forma el bienestar de los habitantes.

La Constitución Nacional abarca todo lo relacionado con los recursos naturales, estableciendo así el concepto de protección ambiental como una responsabilidad del Estado. Además, la Constitución Política reconoce el derecho a gozar de un entorno saludable, y la nación debe asegurar la preservación de la diversidad ambiental. Debe prevenir el deterioro del medio ambiente y regular cualquier condición o situación que pueda poner en peligro el entorno, según lo estipulado en el artículo 80.

Artículo 80: El Estado planificará la gestión y utilización de los recursos naturales para asegurar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución. Además, debe prevenir y controlar los factores que deterioran el medio ambiente, imponer sanciones legales y

exigir la reparación de los daños ocasionados. También colaborará con otras naciones en la protección de los ecosistemas ubicados en las zonas fronterizas (Constitución Política, 1992)

Artículo 66: Competencias en Grandes Centros Urbanos. Los municipios, distritos o áreas metropolitanas con una población urbana igual o superior a un millón de habitantes tendrán, dentro de su perímetro urbano, las mismas funciones que las corporaciones autónomas regionales en lo relacionado con el medio ambiente urbano. Además de gestionar licencias ambientales, concesiones, permisos y autorizaciones para actividades y obras en su jurisdicción, estas autoridades tendrán la responsabilidad de controlar vertimientos y emisiones contaminantes, la disposición de desechos sólidos y residuos tóxicos y peligrosos, implementar medidas de corrección o mitigación de daños ambientales, y desarrollar proyectos de saneamiento y descontaminación (Constitución Política, 1992).

De manera similar, el segundo inciso del artículo 107 de la Ley 99/93 establece que las normas ambientales tienen carácter de orden público y no pueden ser objeto de negociación o renuncia por parte de las autoridades o de los individuos. Esto implica que deben cumplirse plenamente las disposiciones nacionales y que los ciudadanos tienen la responsabilidad de asegurar su estricto cumplimiento (Constitución Política, 1992)

La Resolución 0472 de 2017 establece las directrices para la gestión de residuos generados durante actividades de construcción, demolición, reparación o mejoras en obras civiles, así como en actividades relacionadas, complementarias o similares. Estas actividades deberán ajustarse a las normativas ambientales especificadas en dicha resolución (Minambiente, 2017).

Esta resolución da los lineamientos para el almacenamiento, aprovechamiento, demolición selectiva, generador de RCD, gestión integral de RCD, gestor de RCD, gran

generador de RCD, pequeño generador de RCD y plantas de aprovechamiento. Esta resolución da los criterios para definirse e identificarse dentro de la misma resolución y te dice de acuerdo con el al tipo de rol que desempeñe dentro de la industria da las disposiciones y lineamientos para desempeñar su labor de forma correcta.

La Ley 1931 de 2018 tiene como objetivo establecer directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de entidades públicas y privadas. La ley promueve la participación de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales en las acciones de adaptación al cambio climático y en la mitigación de gases de efecto invernadero. Su propósito es reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático, y fomentar una transición hacia una economía competitiva, sostenible y de bajo carbono (Ley 1931, 2018, Parr. 1)

La Resolución 1257 de 2021 establece que se deben modificar las definiciones de almacenamiento y gran generador descritas en el artículo 2° de la Resolución 0472 de 2017, y añadir las definiciones de receptor y simbiosis industrial a ese mismo artículo. Esto busca ampliar el alcance de la Resolución 0472 de 2017, actualizando estos dos conceptos para mejorar la clasificación y gestión de los acopios generadores de residuos de construcción y demolición (RCD) (Resolución 1257, 2021, Art 1°)

En octubre de 2021, la ciudad de Ibagué implementó un plan integral de gestión de residuos sólidos que establece estrategias para el manejo adecuado de los residuos generados por diversas empresas y productores. Este plan introduce la iniciativa de las 3R: "Reducir, Reciclar, Reutilizar", como una norma para proteger el medio ambiente, específicamente para disminuir el volumen de residuos sólidos. En resumen, las 3R contribuyen a la producción de menos residuos,

al ahorro económico y a una mayor responsabilidad como consumidor, reduciendo así la huella de carbono.

Para los residuos generados por el mantenimiento y las adecuaciones de los sitios de trabajo, así como para las actividades de mejora de vías, es importante considerar la información proporcionada por la empresa Ibagué Limpia, que actualmente se encarga del transporte y disposición de residuos de construcción y demolición. Esta empresa cuenta con la autorización de la Autoridad Ambiental a través de la Resolución 1140 de 2014 para llevar a cabo estas tareas.

Los residuos se clasifican en dos tipos:

Residuos de Construcción y Demolición Tipo I: Tierras y Materiales Pétreos. Estos incluyen el material de excavación, que abarca tierra y material de dragado utilizado para aumentar profundidades o dimensiones de un terreno antes de una obra civil, así como material pétreo, que se refiere a materiales inorgánicos derivados de rocas o con características similares, usados predominantemente en el sector de la construcción.

Residuos de Construcción y Demolición Tipo II: Escombros. Estos residuos se originan durante la construcción y demolición de edificaciones, infraestructura e instalaciones de servicios públicos. Incluyen, entre otros, concreto simple, concreto reforzado, ladrillo, cerámica, tejas y tejas de asbesto-cemento. (PGIRS Ibagué, P. 75, 2021)

Estudio de los Residuos de Producción de Concreto (RPC) de la planta CEMEX de Ibagué

Descripción del Proceso en General

La Planta Ibagué tiene una capacidad de producción de 10,000 m³ mensuales. Dentro de su oferta de servicios, cuenta con varios subprocesos: producción, transporte, control de calidad, y colocación o bombeo. Estos subprocesos están directamente relacionados con el manejo del concreto y, por lo tanto, generan residuos.

El proceso de producción comienza con la recepción de materias primas, que incluyen arena, gravas, cemento, agua y aditivos. Estas materias primas son dosificadas por una planta con diseños de mezcla preestablecidos, que especifican las cantidades necesarias para producir un metro cúbico. Aunque la planta entrega volumen, maneja las materias primas por masa. Todo este proceso es controlado por una sola persona, quien también programa los viajes de carga según la hora de entrega.

La planta dosifica las materias primas en un vehículo con una mezcladora, llamado mixer. Tras la dosificación, el mixer pasa a un área de alistamiento donde se lava para remover residuos de materiales adheridos a partes del camión como la olla mezcladora, el embudo de carga, el canal de descarga y los guardafangos. Estos materiales sobrantes del proceso de carga se recogen en un pozo sedimentador. Una vez lavado, el vehículo se desplaza a la obra para entregar el concreto al cliente.

En la obra, el concreto se coloca directamente en el elemento mediante el canal del mixer, en un balde para ser llevado a diferentes alturas, o con un equipo de bombeo de Cemex. Las dos primeras opciones no generan residuos para Cemex, mientras que el equipo de bombeo sí genera RCD (residuos de construcción y demolición) debido a que el concreto que queda

adherido a la tubería, tolva de descarga y otras partes del equipo se retira durante el lavado. Este lavado se realiza en la planta, y los residuos se recogen en el sedimentador.

Una vez finalizada la descarga, los equipos regresan a la planta para ser limpiados, generando RCD que se cuantificarán posteriormente. Todo este material se deposita en el sedimentador, que se limpia tres veces al día. Los RCD se llevan a un punto de acopio donde se espera que pierdan humedad hasta alcanzar condiciones adecuadas para su transporte.

Otro subproceso que genera RCD es el control de calidad. En este proceso, se toman muestras aleatorias de los diferentes vehículos y tipos de mezclas. Se utiliza aproximadamente 13 litros de concreto para fabricar 8 probetas, que sirven para evaluar la resistencia del concreto. El restante, tras algunas pruebas adicionales, se desecha. Asimismo, las probetas de concreto ensayadas se convierten en parte de los RCD

Cantidad de Residuos de Producción de Concreto

La planta lleva control de los escombros que se retiran de planta, mes a mes se registra la cantidad de toneladas retiradas, ya que se debe reportar a la autoridad ambiental la cantidad de residuos que se les dio disposición final, donde se realizó y con quien, de este proceso se debe tener una certificación de disposición la cual debe relacionar, el proveedor de disposición, que se realizó con los residuos y la cantidad.

Tabla 2*Registro del Año 2023 de la Cantidad de Residuos de Producción de Concreto*

| Meses | Cantidad en Ton |
|------------|-----------------|
| Enero | 165 |
| Febrero | 192 |
| Marzo | 249 |
| Abril | 247 |
| Mayo | 288 |
| Junio | 205 |
| Julio | 217 |
| Agosto | 266 |
| Septiembre | 290 |
| Octubre | 310 |
| Noviembre | 350 |
| Diciembre | 318 |

Nota. Creación propia, datos tomados del registro de escombros de planta Ibagué

Tabla 3*Registro del Año 2024 de la Cantidad de Residuos de Producción de Concreto*

| Meses | Cantidad en Ton |
|---------|-----------------|
| Enero | 109 |
| Febrero | 237 |
| Marzo | 149 |
| Abril | 197 |
| Mayo | 333 |

Nota. Creación propia, datos tomados del registro de escombros de planta Ibagué

Tabla 4*Volumen de Concreto Mes a Mes del Año 2023*

| Meses | Cantidad en M3 |
|------------|----------------|
| Enero | 5100 |
| Febrero | 5800 |
| Marzo | 5712 |
| Abril | 6154 |
| Mayo | 7100 |
| Junio | 7320 |
| Julio | 6987 |
| Agosto | 7560 |
| Septiembre | 8120 |
| Octubre | 8567 |
| Noviembre | 8127 |
| Diciembre | 9127 |

Nota. Elaboración propia, datos tomados del registro de producción de planta Ibagué

Tabla 5*Volumen de Concreto Mes a Mes del Año 2024*

| Meses | Cantidad en M3 |
|---------|----------------|
| Enero | 5600 |
| Febrero | 5130 |
| Marzo | 4800 |
| Abril | 4500 |
| Mayo | 6100 |

Al revisar las tablas 7 y 8 que muestran la producción de concreto y asociarlas con las tablas 5 y 6 de las cantidades de residuos observamos que existe correlación con la generación de residuos y es proporcional al incremento de la producción de concreto.

Figura 1

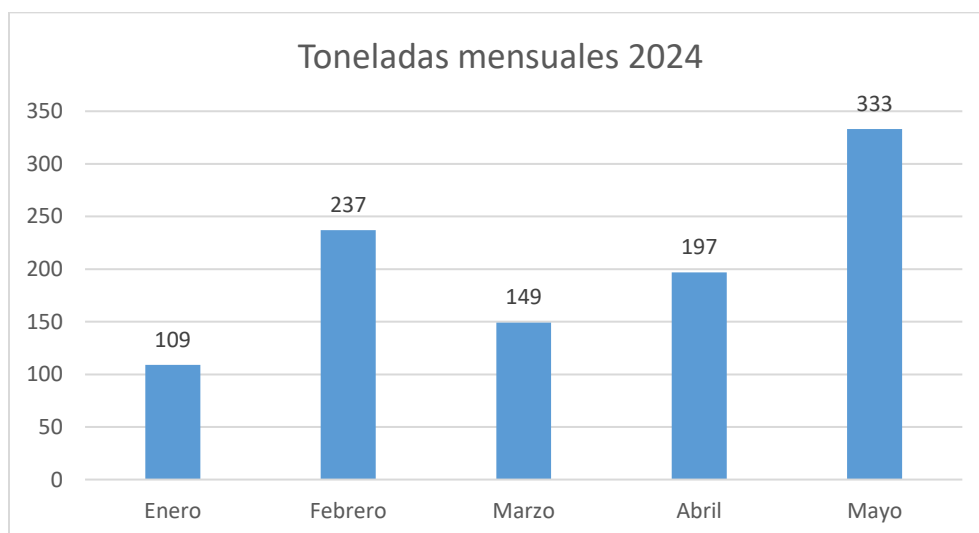
Gráfico de Barras el Cual Representa la Generación de Residuos Mes a Mes para el Año 2023



Fuente. Autoría propia

Figura 2

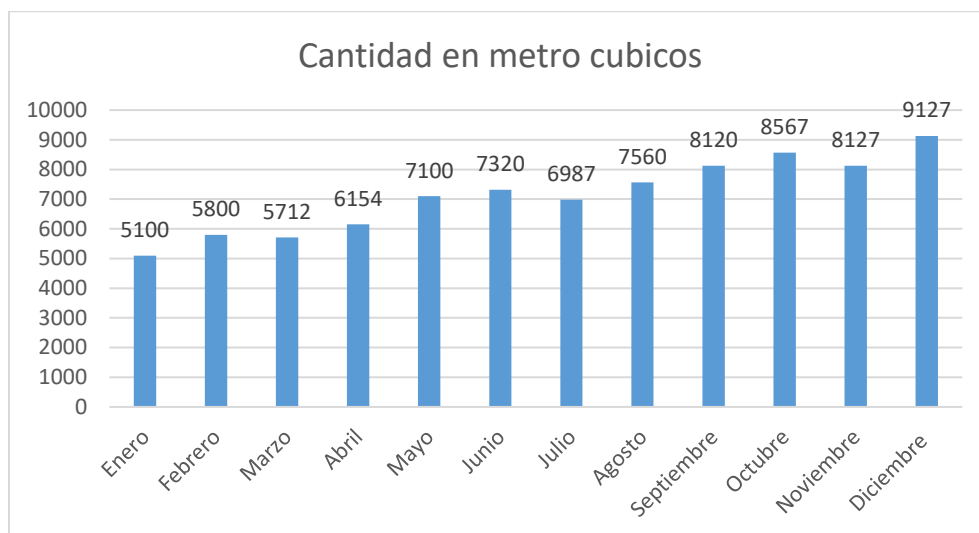
Gráfico de Barras el cual Representa la Generación de Residuos Mes a Mes para el Año 2024



Fuente. Autoría propia

Figura 3

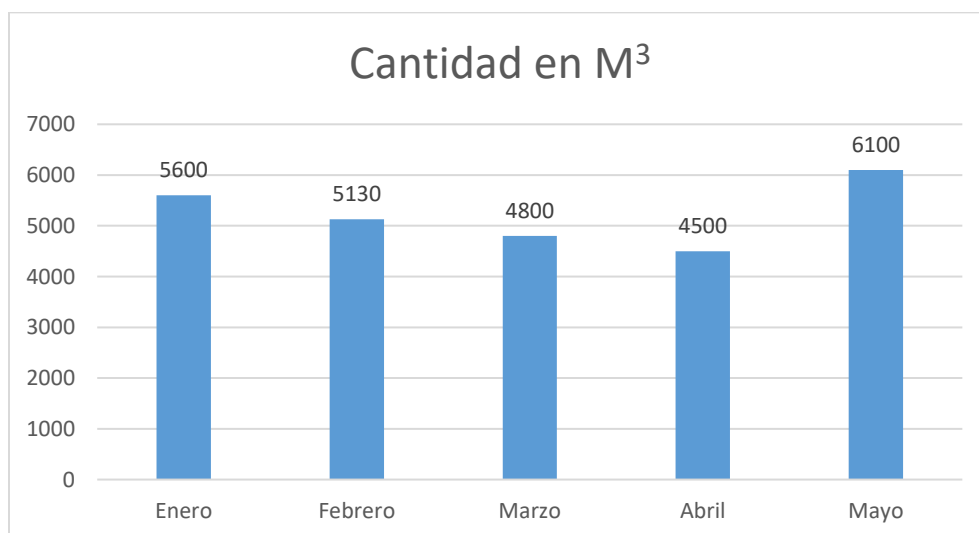
Gráfico de Barras el Cual Representa la Producción de m³ de Concreto para el Año 2023



Fuente. Autoría propia

Figura 4

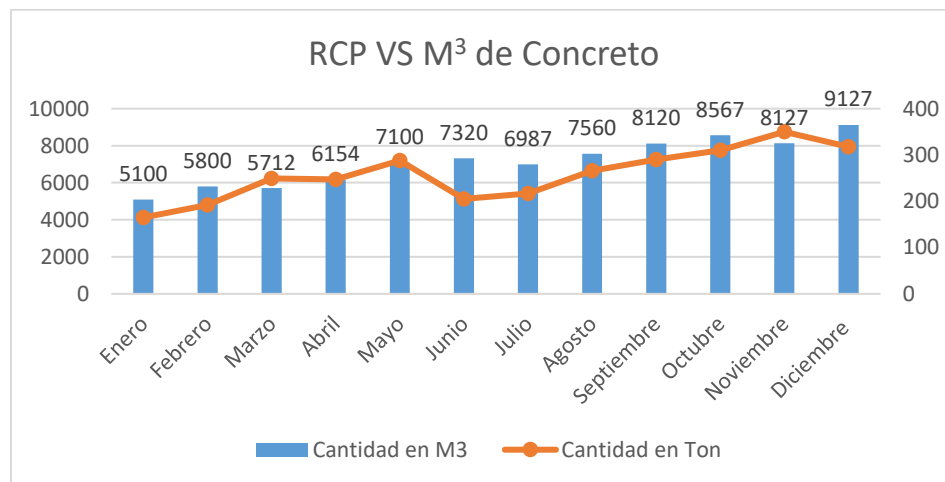
Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de m³ de Concreto para el Año 2024



Fuente. Autoría propia

Figura 5

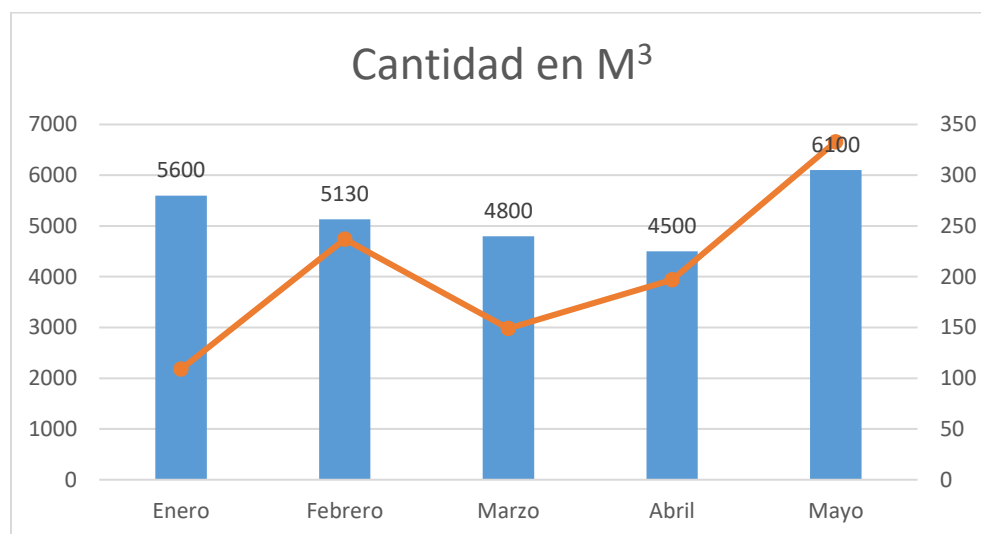
Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de Residuos en Función de Metros Cúbicos de Concreto Año 2023



Fuente. Autoría propia

Figura 6

Gráfico de Barras el cual Representa la Producción de Residuos en Función de Metros Cúbicos de Concreto Año 2024



Fuente. Autoría propia

En la Figura 6 observamos en la misma grafica los valores de producción de concreto para los meses de enero a diciembre del año 2023 y de enero a mayo del año 2024 también se representa la cantidad de residuos de producción de concreto (RPC), a representar en la misma grafica ambos elementos podemos observar cómo al incrementar la producción se incrementa la generación de residuos, hay un comportamiento atípico para los meses de junio y julio esto talvez se deba alguna condición especial en la planta o de la logística de la misma o condiciones de la obras.

Clasificación de los Residuos por Fuente

Según la investigación realizada en planta Cemex Ibagué sobre los residuos de producción de concreto y sus fuentes se tienen cuatro fuentes principales.

Retrabajos

Los llamados retrabajos son procedimientos de ajuste que se realizan a los viajes de concreto cuando no cuentan con la consistencia requerida, consta en descargar parte del concreto que está en la olla mezcladora del camión en el sitio de los residuos y adicionar material seco, la consistencia del concreto se mide en un cono truncado el procedimiento consiste en introducir el concreto en ese cono apisonarlo con una varilla de punta redonda hasta llenarlo to, luego se levanta el cono y se mide como asentamiento la diferencia entre la parte superior del cono y el centro del concreto esta diferencia altura se conoce como asentamiento en el concreto, en algunos de los viajes en el proceso de cargue o alistamiento sufre alteraciones y esta consistencia se altera y se debe corregir y llevar a lo especificado ya que es uno de los parámetros de aceptación por el cliente. Al realizar este procedimiento de ajuste se genera residuos de concreto, para un ajuste mínimo de consistencia que se realice debe botarse de la olla un mínimo de 0,25 m³ que en peso podrían ser aproximadamente 600 Kg de concreto.

Limpieza de equipos (Camiones Revolvedores, Bombas, Cargadores)

Planta Ibagué tiene en su flota de distribución 25 camiones revolvedores, 2 autobombas, 2 bombas estacionarias y 2 cargadores, los camiones revolvedores y las bombas son los equipos que más están en contacto con el concreto y deben ser cuidadosamente limpiadas para garantizar que el concreto no afecte sus partes mecánicas, esta labor se lleva a fin de jornada. Se realiza con agua a presión la cual se aplica a las partes del mixer para desincrustar el concreto adherido. En cuanto a la cantidad de concreto residual, en un mixer o camión mezclador vacía de 8 m³ que antes cargaba concreto, quedan aproximadamente 270 kg de concreto pegados a las paredes de la olla mezcladora. Para lavar ese concreto antes de que se pegue a las paredes de la olla es necesario utilizar aproximadamente entre 300 y 600 litros de agua. Estos residuos van a un pozo sedimentador luego el cargador los pasa al cubículo de acopio de los residuos de producción de concreto.

Viajes Devueltos

La planta diariamente despacha un aproximado de cuarenta viajes de concreto los cuales deben llegar con las especificaciones técnicas que el cliente solicito, en algún caso pasa que uno de estos viajes no cumple con las especificaciones requeridas, llega tarde a la obra o simplemente el cliente no lo coloca y asume el concreto, en cualquiera de estas condiciones el viaje debe ser devuelto a la planta para ser dispuesto en un sitio seguro. Como política de la empresa no se debe realizar ningún proceso de donación de este concreto, de esta forma solo se puede utilizar como consumos internos de la planta o aplicarle un aditivo a base de polímeros llamado ISOCYCLE, la función de este aditivo es paletizar el concreto y evitar que endurezca como una mole de concreto luego de aplicar el aditivo y un periodo de secado y mezclado se pasa al cubículo de acopio de los residuos

Figura 7

Imagen de Concreto Después del Proceso con ISOCYCLE



Fuente. Propia

Análisis de la fase 1 “diagnostico, cantidad y características de los residuos de producción de concreto”

Como observamos en los valores de las tablas y las gráficas la producción de residuos de concreto va en función de la producción de metros cúbicos de concreto, debido a que hay subprocesos de la planta que se deben realizar con mayor frecuencia debido a la producción, como es el caso del subproceso de producción ya que la planta de concreto de cargar muchos más vehículos y por ende se produce una mayor cantidad de pérdida de material (arena, grava y cemento) que va a parar a los residuos. El proceso de control de calidad también debe analizar más muestras de concreto y agregados (arena y grava) y se producen más residuos, otra variable que se suma a los viajes devueltos esto se debe que al tener una dinámica más alte de producción y transporte se presentan más novedades con el concreto que hace que se desperdicien más viajes y estos vayan a parar a los residuos de producción de concreto.

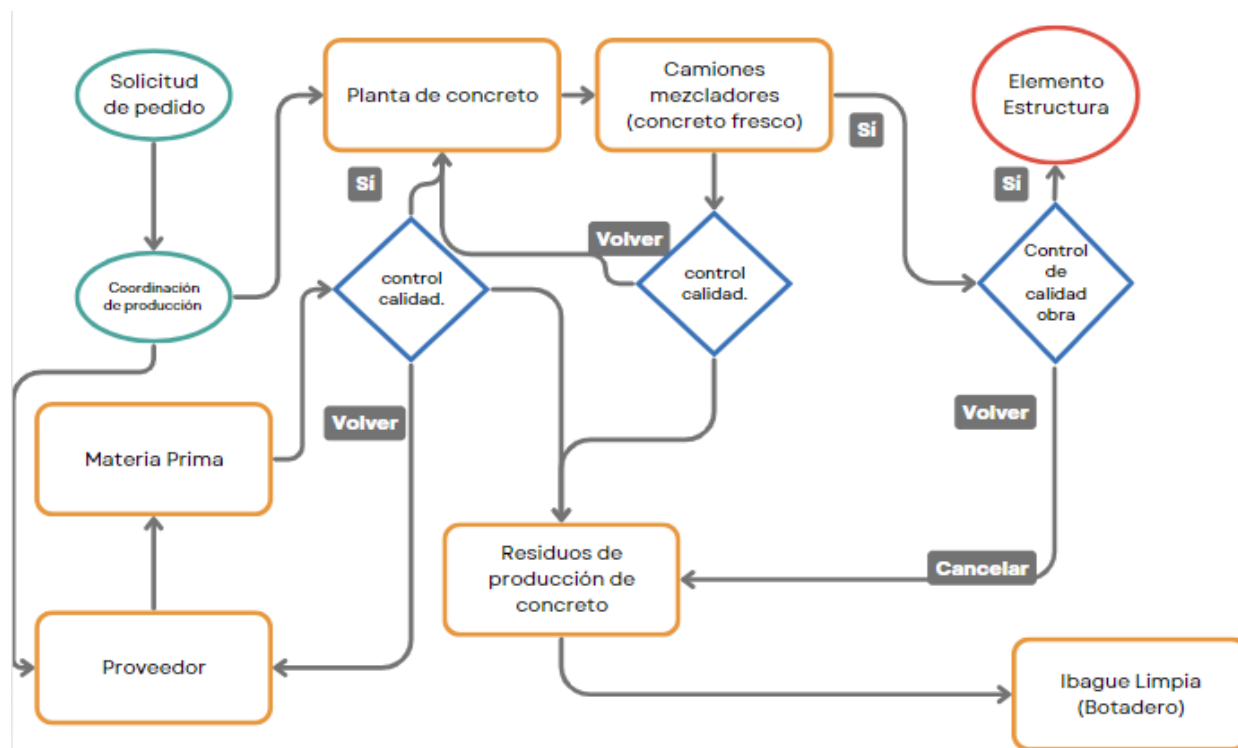
En conclusión, la generación de residuos de producción de concreto en planta Cemex Ibagué ha crecido en función de la producción para el año 2023 se tuvo unos picos de producción de concreto y se evidencio el incremento en la generación de residuos.

Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Concreto Planta Cemex Ibagué

Diagrama de Proceso de producción de concretos y generación de Residuos, con disposición final de los residuos

Figura 8

Diagrama de Proceso de Producción de Concreto



Fuente. Elaboración propia.

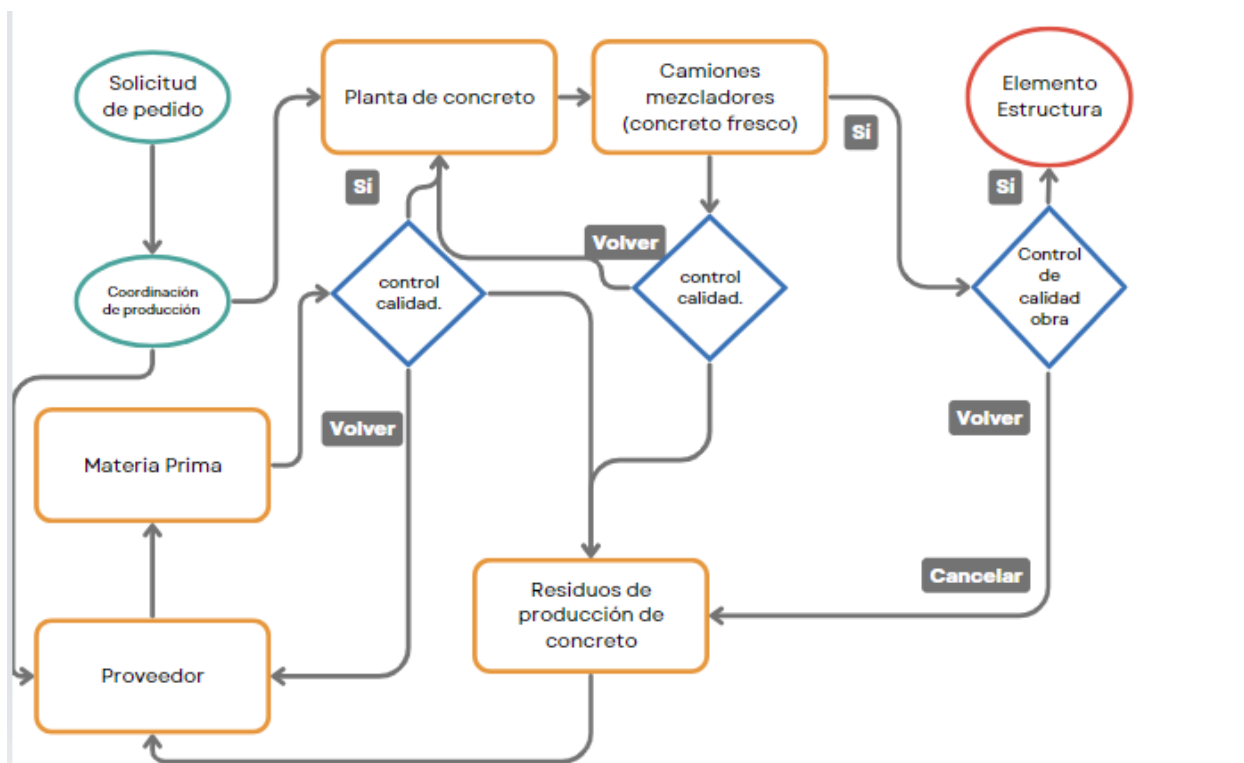
En la Figura 8 que corresponde al diagrama del proceso de producción de concreto de planta Cemex Ibagué, en este se representa los diferentes subprocesos que hacen parte del proceso principal, desde que se recibe el pedido del cliente, el cómo se solicita la materia prima se lleva a planta, luego se valida las condiciones por calidad, si no cumple se regresa donde el proveedor para que este realice la devolución del producto, si es avalado por calidad pasa a ser dosificado a los camiones mezcladores, en este proceso la arena, grava, cemento y agua se convierten en concreto que debe pasar a calidad de nuevo para evaluar sus condiciones, si no

cumple debe aplicarse el proceso de retrabajo, si cumple sale hacia obra para entregar al cliente, luego de estar en obra se mide su calidad por el cliente y si es lo que se solicitó se coloca en el elemento, si no cumple se retorna a planta y va para el cubículo de los residuos de producción.

Diagrama de Proceso de producción de concreto con implementación de Co-Proceso

Figura 9

Diagrama de Proceso de Producción de Concreto con Implementación de Co-proceso



Fuente. Elaboración propia.

En la figura 9, se representa el proceso de producción de concreto de la planta de Cemex Ibagué como se observa en la figura anterior la única variación es que los residuos de concreto no van a disposición final en botadero si no que se llevan a instalaciones de un proveedor de arena y grava e ingresan de nuevo al proceso como materia prima.

Caracterización de Procesos

Para hacer alusión a este punto del trabajo primero es pertinente realizar una breve descripción del proceso que realiza planta Cemex Ibagué para contextualizar como se generan este tipo de residuos.

La oferta de servicio de la planta cuenta con varios subprocesos que son: control de calidad, transporte, colocación o bombeo, estos son los que están ligados directamente con el manejo del concreto y por ende generan residuos.

Proceso de Producción

En el proceso de producción inicia con la recepción de materias primas las cuales están compuestas por arena, gravas, cemento, agua, aditivos.

Esas materias primas son dosificadas por una planta la cual tiene unos diseños de mezcla preestablecidos los cuales cuentan con las cantidades que se deben adicionar para producir un metro cubico. La planta entrega volumen, pero maneja sus materias primas por masa, todo este proceso lo controla una sola persona la cual es la encargada de programar los viajes a cargar en función de la hora de entrega.

La planta dosifica las materias primas a un vehículo con una olla de mezclado llamado mixer la cual al terminar de dosificar las materias primas pasa a un sitio de alistamiento en donde se le lava los residuos de materiales que quedaron adheridos a partes del camión tales como olla mezcladora, embudo de cargue, canal de descargue, guarda fangos. Estos materiales sobrantes del proceso de cargue llegan a un pozo sedimentador, luego de realizar el lavado del vehículo este se desplaza hasta la obra para ser entregado al cliente.

Figura 10*Ficha de Proceso de Producción de Concreto*

| | | | | | |
|---|--|---|---|--|------------------------------------|
| PROCESO | Producción | | | | |
| OBJETIVO | Describir las actividades del proceso | | | | |
| ALCANCE | Delimitación de las actividades del Proceso | | | | |
| RESPONSABLE | Líder del Proceso (Coordinador de producción o jefe de planta) | | | | |
| PLANEAR | | | | | |
| Producción | Solicitud y recepción de materia prima, operación planta concreto | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES NTERESADAS DE SALIDA |
| Producción | Recepción de materias primas (arena, grava, cemento, aditivos) | Validar necesidades de producción, realizar solicitud de materias primas, control de inventarios, operación de planta de concreto | Coordinador de producción, jefe de planta | Solicitud, recepción y despacho concreto | Organización, Calidad, Clientes |
| HACER | | | | | |
| SECRETARIA / DIRECCIÓN / OFICINA | Coordinación de producción | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES NTERESADAS DE SALIDA |

| | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|---|--|
| <p>Producción Calidad</p> | <p>Materias primas (cemento, arena, grava, aditivos)</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Recepción de materias primas • Almacenamiento y custodia de materia prima • Ingreso de materias primas • Planificación de producción • Cargue de vehículos con concreto con arena, grava, cemento, agua y aditivos • Mezclado y transformación en concreto • Cumplimiento de entregas • Aseo y recolección de residuos y disposición en cubículo de almacenamiento • Cierre de inventarios | <p>Jefe de planta Coordinador producción Operador de cargador Ayudante de planta</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Informes de inventarios • Concreto en estado fesco • Residuos de producción de concreto | <p>Organización, producción, calidad. clientes</p> |
| VERIFICAR | | ACTUAR | | | |

| <ul style="list-style-type: none"> • Validar stock de materias primas • Recepción de materia prima • Disponibilidad de vehículos • Cargue correcto de recetas • Viajes correspondan a lo solicitado por el cliente • Cumplimiento de horas de entrega solicitada por el cliente | | <ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar el cargue del concreto de forma correcta • Validar mínimos operativos de planta y vehículos • Reporte de novedades de inventarios • Reporte de novedades de planta • Cierre de producción • Garantizar indicadores de cumplimiento y producción | |
|---|--|---|---------------------------|
| RECURSOS | | INDICADOR(ES) | ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO |
| TALENTO HUMANO | INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS NECESARIOS | | |
| Tecnólogos e ingenieros | <ul style="list-style-type: none"> • Planta de producción de concreto • Silos de almacenamiento • Vehículos mezcladores • Equipo de computo • Cargador frontal • Tolvas de alimentación • Bandas transportadoras • Compresores | <ul style="list-style-type: none"> • cumplimiento • Satisfacción del cliente • Disponibilidad de flota • Ventas • Disponibilidad de planta | Ver matriz de riesgos |

Nota. Ficha de proceso de producción, autoría propia.

Proceso de Control de Calidad

E este proceso se realiza se toman muestras de las materias primas (arena, grava) y de concreto en estado fresco para realización de pruebas para validar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los productos.

Figura 11*Ficha de Proceso de Control de Calidad*

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|---|--|
| PROCESO | Control de calidad | | | | |
| OBJETIVO | Describir las actividades del proceso | | | | |
| ALCANCE | Delimitación de las actividades del Proceso | | | | |
| RESPONSABLE | Líder del Proceso (Coordinador Técnico o Líder calidad) | | | | |
| PLANEAR | | | | | |
| Laboratorio de concreto | Realizar control de calidad a los concretos despachados por la planta | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES INTERESADAS DE SALIDA |
| Calidad Producción | Materias Primas (Arena y Grava) Concreto en estado fresco | Control de calidad a las materias primas que se reciben para la fabricación de concreto. Control de calidad y especificaciones del concreto que se produce la planta dosificadora | Coordinador técnico Auxiliares de laboratorio | Aceptación de materias primas Cumplimiento de especificaciones de concreto | Organización, Calidad, producción y clientes |

| HACER | | | | | |
|--|---|--|--|--|---|
| SECRETARIA / DIRECCIÓN / OFICINA | Laboratorio de concreta planta | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES INTERESADAS DE SALIDA |
| Calidad Producción. | Muestras de agregados y concreto en estado fresco | <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de humedad • Gradación agregados (Arenas y Gravas) • Determinación de asentamiento del concreto • Determinación del contenido de aire • Realización de las probetas de concreto • Ensayo a compresión de las probetas de concreto | Coordinador técnico y auxiliares de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> • Probetas de concreto • Residuos de agregados (Arena y Grava) • Residuos de concreto Fresco | Calidad, producción, directivas, clientes |

| HACER | | | | | |
|---|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|---|
| SECRETARIA / DIRECCIÓN / OFICINA | Laboratorio de concreta planta | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES INTERESADAS DE SALIDA |
| | | <ul style="list-style-type: none"> Aseo y recolección de residuos y disposición en cubículo de almacenamiento | | | |
| VERIFICAR | | | ACTUAR | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Validar el cumplimiento de las especificaciones de los agregados para concreto Revisar las especificaciones del concreto en estado fresco Validar el cumplimiento de resistencia a la compresión y flexión de los concretos despachados Validar la aceptación del concreto por parte del cliente | | | <ul style="list-style-type: none"> Reportar el incumplimiento de las especificaciones Realizar los ajustes necesarios para garantizar las especificaciones del concreto Realizar el reporte de las novedades por resistencia para realizar los ajustes necesarios Visitas a los diferentes clientes para validar cumplimiento de las especificaciones del producto | | |
| RECURSOS | | | INDICADOR(ES) | ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO | |
| TALENTO HUMANO | INFRAESTRUCTURA | | | | |

| | | | |
|--|--|--|------------------------------|
| <p>Personal Técnico o Tecnólogos</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones para la realización de los ensayos de concreto fresco • Equipos de laboratorio • Prensa de concreto • Buguis • Moldes para fabricación de muestras de concreto • Piscinas de curado • Pozo de residuos | <ul style="list-style-type: none"> • Cierre estadístico • Satisfacción del cliente • Cumplimiento • Ventas | <p>Ver matriz de riesgos</p> |
|--|--|--|------------------------------|

Nota. Ficha de proceso de control de calidad, autoría propia.

En la figura 11 que corresponde a la ficha del proceso de control de calidad el cual se realiza para garantizar el cumplimiento de las especificaciones del concreto que produce la planta, este proceso se basa en la norma técnica colombiana.

Subproceso de Limpieza de Camiones Revolvedores y Bombas para Concreto

Dentro de los subprocesos de la planta este hace parte de los procesos que más generan residuos dentro de la planta. Todos los equipos camiones revolvedores y bombas para concreto deben regresar a planta para estacionar y realizar la limpieza de los equipos, esta última es la más importante que deben realizar pues los residuos de concreto tienen a fraguar y adherirse a las paredes de las ollas mezcladoras y de las paredes de los tubos de conducción del concreto.

Según un estudio realizado por JMartinez sobre la cantidad de concreto residual, se concluye que un camión mezclador con una capacidad de 9 m³ deja aproximadamente 270 kg de concreto adherido a la olla mezcladora después de vaciarse. Para lavar este concreto antes de que se endurezca, se requieren entre 300 y 600 litros de agua. En promedio, la Organización Europea de Concreto Preparado estima que se necesitan 50 litros de agua de lavado por cada metro cúbico de concreto preparado, lo que para un camión de 9 m³ equivaldría a 450 litros de agua de lavado, ajustándose al rango mencionado (Jmartinez, 2011).

Figura 12

Ficha de Subproceso de Limpieza de Camiones Revolvedores y Bombas

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| PROCESO | Limpieza de camiones revolvedores y bombas | | | | |
| OBJETIVO | Describir las actividades del proceso | | | | |
| ALCANCE | Delimitación de las actividades del Proceso | | | | |
| RESPONSABLE | Líder del Proceso (coordinador de bombeo, coordinador de producción, conductores y operadores de bomba) | | | | |
| HACER | | | | | |
| SECRETARIA / DIRECCIÓN / OFICINA | coordinación de bombeo y operadores de bomba | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES INTERESADAS DE SALIDA |
| Producción, comercial, bombeo | Camiones revolvedores y bombas para concreto | <ul style="list-style-type: none"> • Ingreso a planta y registro en portería • Ingreso a zona de lavado • Alistamiento de vehículos • Lavado de las partes del equipo • Desincrustar el concreto de la olla de concreto y tubería • Estacionamiento de los vehículos | <p style="text-align: center;">Jefe de planta Coordinador producción Conductores y operadores de bomba</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Informes de inventarios • Equipos limpios • Residuos de concreto | <p style="text-align: center;">Organización, producción, bombeo, mantenimiento</p> |

| | | | | | |
|---|--|--|--|----------------------------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> Aseo y recolección de residuos y disposición en cubículo de almacenamiento | | | |
| VERIFICAR | | | ACTUAR | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Verificar concreto adherido Validar peso de ingreso a planta de los camiones mezcladores Verificar tubería de bombas Revisar peso de salida después de lavado de camiones revolventes Inspección general de los camiones revolventes y bombas | | | <ul style="list-style-type: none"> ejecutar pesaje de los vehículos y realizar seguimiento a pesos de estos realizar inspecciones de los equipos para garantizar el buen estado de estos realizar la programación de los servicios de bombeo realizar la entrega de los viajes de concreto | | |
| RECURSOS | | | INDICADOR(ES) | ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO | |
| TALENTO HUMANO | INFRAESTRUCTURA | | | | |
| Tecnólogos, ingenieros y bachilleres | <ul style="list-style-type: none"> pasarela de lavado bombas de lavado sedimentador de residuos de lavado palas desincrustantes agente desincrustante | | <ul style="list-style-type: none"> cumplimiento Satisfacción del cliente Disponibilidad de flota Ventas Disponibilidad de planta FOP bombeo | Ver matriz de riesgos | |

Nota. Ficha de proceso de limpieza de camiones revolventes y bombas, autoría propia.

Subproceso de Acopio y Retiro de Residuos de Producción de Concreto

Dentro de los subprocesos de la planta este es el último proceso y muy importante en la generación de residuos de producción de concreto que es el acopio y retiro de los residuos, para este proceso la planta dispone de dos cubículos de 4 metros de anchos por 15 metros de fondo y una altura de 3 metros una capacidad de almacenamiento de 300 metros cúbicos. Todos los días se debe limpiar la zona de cargue unas 10 veces al día depende del volumen de producción y de las novedades que se presenten, se realiza el raspado con la pala del cargador y se recogen los residuos que están compuestos por cemento, arena y grava. Del sub proceso de control de calidad también se generan residuos, estos constan de concreto en estado fresco, concreto en estado endurecido y residuos de agregados (arenas y gravas) estos los deposita el auxiliar de laboratorio directamente en los cubículos de acopio, también tenemos el proceso de limpieza de los pozos sedimentadores que son los que captan los residuos que quedan después del lavado de los equipos, estos se deben limpiar 3 veces al día para evitar que se llenen y contaminen los alrededores de la planta.

Figura 13

Ficha de Subproceso de Recolección y Acopio de Residuos

| | | | | | |
|---|---|--|--|---|--|
| PROCESO | Proceso de generación y acopio de residuos | | | | |
| OBJETIVO | Describir las actividades del proceso | | | | |
| ALCANCE | Delimitación de las actividades del Proceso | | | | |
| RESPONSABLE | Líder del Proceso (jefe de planta y coordinador de producción) | | | | |
| HACER | | | | | |
| SECRETARIA / DIRECCIÓN / OFICINA | Jefatura de planta | | | | |
| PARTES INTERESADAS DE ENTRADA | ENTRADA | ACTIVIDAD | RESPONSABLE QUE EJECUTA | SALIDA | PARTES INTERESADAS DE SALIDA |
| Producción, comercial, bombeo | Residuos de la producción (sobrantes de materias primas, arenas gravas, cemento) residuos de control de calidad (arena, grava, cemento, concreto en estado fresco, residuos de falla de probetas de concreto) | <ul style="list-style-type: none"> Le cargador raspa la zona de cargue del mixer para recoger residuos, cada vez que haya la necesidad y llevar al acopio de residuos. Colocar los residuos de control de calidad en la pala del cargador y llevarlos al acopio de residuos. | Operador de cargador, ayudante de planta | <ul style="list-style-type: none"> Check list de procedimiento Residuos de producción de concreto (arena, gravas, lodos y concreto en estado fresco y endurecido) estos residuos se acopian | Organización, producción, jefatura de planta |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| | residuos de limpieza de equipos (arena, grava, lodos, concreto fresco. | <ul style="list-style-type: none"> El cargador realiza limpieza del pozo sedimentador y el área de pasarelas de lavado y lleva los residuos al acopio. | | hasta alcanzar una humedad ideal para transportarlos a un sitio de disposición final. | |
| VERIFICAR | | | ACTUAR | | |
| <ul style="list-style-type: none"> Verificar las condiciones de la zona de carga para realizar limpieza Verificar que calidad no tenga residuos de concreto o materias primas Verificar las condiciones del pozo que no esté lleno de lodos | | | <ul style="list-style-type: none"> Limpiar de forma periódica la zona de cargue Recoger los residuos que tiene para disposición el área de calidad Realizar la limpieza del pozo sedimentador y la zona de pasarelas de lavado | | |
| RECURSOS | | | INDICADOR(ES) | ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO | |
| TALENTO HUMANO | INFRAESTRUCTURA | | | | |
| Tecnólogos, ingenieros y bachilleres | <ul style="list-style-type: none"> pasarela de lavado bombas de lavado sedimentador de residuos de lavado palas desincrustantes agente desincrustante shuf de cargue palas y buguis cargador volquetas | | <ul style="list-style-type: none"> lista de chequeo de limpieza de zonas de residuos cumplimiento ante autoridad ambiental CORTOLIMA ítem de sostenibilidad de la empresa | Ver matriz de riesgos | |

Nota. Ficha de proceso de acopio y retiro de los residuos de concreto.

Análisis de la fase 2 “diagramas de flujos y fichas de subprocesos de planta Cemex Ibagué”

Al revisar los diagramas del proceso general tenemos una visión general del proceso productivo que lleva planta Cemex Ibagué, observamos como a partir de la solicitud de un cliente se genera toda una logística para poder atender el requerimiento de este cliente, inicia con el ingreso y aceptación de la materia y termina con la salida del concreto como producto terminado y la generación de una cantidad de residuos, observamos que existen 4 subprocesos que realizan la principal generación de residuos en la planta Cemex Ibagué de esta forma observamos que tienen un proceso organizado desde la solicitud de materia prima, que el control de calidad está a lo largo de todo el proceso de producción de concreto y que cuentan con los equipos necesarios para realizar la limpieza, sedimentación y acopio de los residuos de producción de concreto.

Eficiencia y Análisis del Costo Beneficio del Procesamiento de Residuos de Concreto de Planta CEMEX Ibagué

Descripción del Proceso Actual

Planta Ibagué en para el año 2023 tuvo una producción de residuos de concreto de 300 Ton mensuales, esto se debe a la producción de concreto la cual tiene diferentes subprocesos en los cuales se generan residuos, actualmente los residuos se disponen con un contratista llamado Maquitrans este es el encargado de llevarlos al botadero de Ibagué limpia una empresa pública que hace parte de la alcaldía de Ibagué la cual se dedica a vigilar y reglamentar los residuos de la ciudad de Ibagué, esta administra el botadero de residuos de construcción y demolición ubicado en la ciudad, Maquitrans compra un talonario de disposición el cual va con un volumen indicado que le permite llevar a este botadero y poder certificarlos a las empresas que contraten sus servicios.

Figura 14

Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada

| Costo disposicion Residuos | |
|----------------------------|--------------|
| proveedor | Precio Ton |
| Maquitrans | \$ 27.500,00 |

Nota. Autoría propia.

Tabla 6

Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada con la Cantidad Mensual por el Año

2023

| Meses | Toneladas | Costo |
|------------|-----------|-----------------|
| Enero | 165 | \$ 4.537.500,00 |
| Febrero | 192 | \$ 5.280.000,00 |
| Marzo | 249 | \$ 6.847.500,00 |
| Abril | 247 | \$ 6.792.500,00 |
| Mayo | 288 | \$ 7.920.000,00 |
| Junio | 205 | \$ 5.637.500,00 |
| Julio | 217 | \$ 5.967.500,00 |
| Agosto | 266 | \$ 7.315.000,00 |
| Septiembre | 290 | \$ 7.975.000,00 |
| Octubre | 310 | \$ 8.525.000,00 |
| Noviembre | 350 | \$ 9.625.000,00 |
| Diciembre | 318 | \$ 8.745.000,00 |

Nota. Autoría propia.

Tabla 7

Costo de Disposición con Contratista Actual por Tonelada con la Cantidad Mensual por el Año

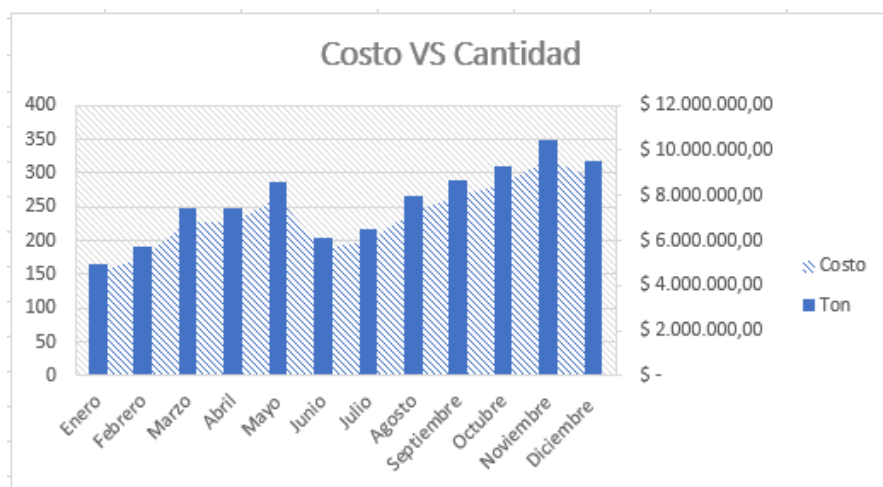
2024

| Meses | Toneladas | Costo |
|---------|-----------|-----------------|
| Enero | 109 | \$ 4.537.500,00 |
| Febrero | 237 | \$ 5.280.000,00 |
| Marzo | 149 | \$ 6.847.500,00 |
| Abril | 197 | \$ 6.792.500,00 |
| Mayo | 333 | \$ 7.920.000,00 |

Nota. Autoría propia.

Figura 15

Grafica de la Cantidad de Residuos Versus Costo Disposición para el Año 2023

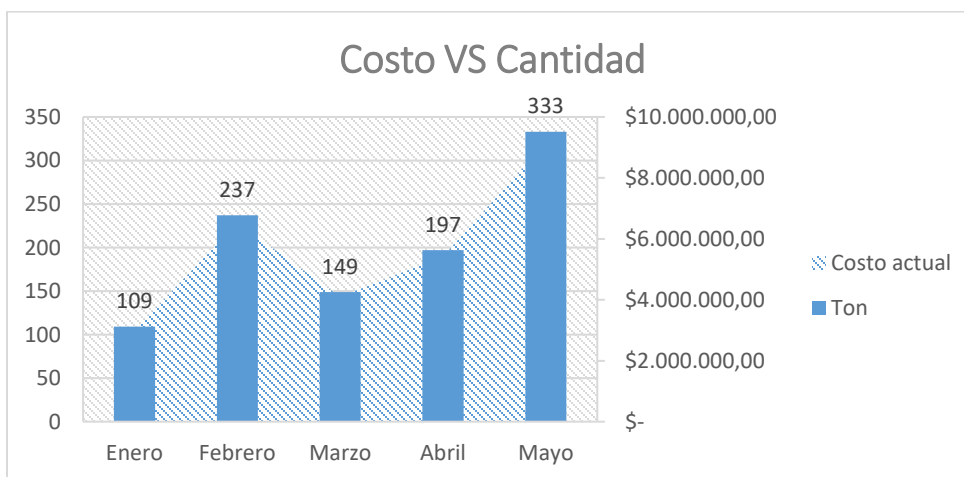


Nota. Autoría propia.

En la figura 15 observamos los valores de los costos de disposición para el año 2023, las barras representan las toneladas y el relleno solido representa el costo de disposición mensual.

Figura 16

Grafica de la Cantidad de Residuos Versus Costo Disposición para el Año 2024



Nota. Autoría propia.

En la figura 16 observamos los valores de los costos de disposición para el año 2024, las barras representan las toneladas y el relleno solido representa el costo de disposición mensual.

Descripción del Co-Proceso

Como iniciativa se plantea la introducción de los residuos de producción de concreto en uno de los procesos de los proveedores actuales de planta Cemex Ibagué, la idea es llevar a una de las plantas de los proveedores mezclar con el crudo (material de río) que utilizan para su producción y pasarlo por proceso para convertirlo en arenas y gravas.

Planta Cemex Ibagué tiene dos zona importantes en la que están ubicadas los proveedores de agregados, la primera es en los municipios de Saldaña y Guamos del departamento del Tolima estos proveedores extraen material de los ríos Saldaña y río Cucuana, son materiales aluviales con unas propiedades físicas buenas para la producción de agregados para concreto, la segunda está ubicada en los municipios de Suarez Tolima y Girardot Cundinamarca estos proveedores extraen material de terrazas aluviales a las márgenes del río Magdalena y otros extraen directamente del cauce del río.

Al revisar las distancias que hay a cada una de las zonas en la que se encuentran los proveedores se observa que las distancias son similares de este punto se parte a solicitar a cadena de suministro de la empresa el crear un flete a estas fuentes.

Como iniciativa se plantea el buscar un flete compensado, un flete compensado es una figura de flete con precio diferencial debido a que los carros llegan cargados desde los proveedores a planta ibague y deben regresar vacíos a nuevamente donde los proveedores a cargar arenas y gravas, ese recorrido que deben hacer de vuelta se le realiza un costeo por un 50 a 60% del costo del flete original con materia prima. Al realizar el costeo de este flete el costo

aproximado sin negociar con los transportadores es de \$14.000, este es un valor aproximado ya que puede ser menor o mayor al realizar la negociación con los transportadores.

En cuanto a los costos de producción la meta que se tiene es que se realice a cero costos pues la estrategia de negociación con el proveedor es que esos residuos los va a incluir dentro de la arena y la grava que le compro y no se tendrá precio diferencial.

Partiendo desde este supuesto flete y el costo cero de proceso con el proveedor hacemos los siguientes cálculos.

Para un año como el 2023 que se generaron mensualmente una cantidad de residuos aproximada de 210 toneladas podemos hacer un cálculo aproximado del costo y realizar una proyección para el último trimestre del año 2024.

Tabla 8

Costo de Disposición Realizando el Co-Proceso para el Último Trimestre del 2024

| - | Cantidad en Ton | Costo |
|--------|-----------------|--------------|
| Cuarto | 630 | \$ 8.820.000 |

Nota. Autoría propia.

En la tabla 8 observamos el costo de disposición con la figura de Co-Proceso para un estimado de 210 Toneladas mensuales para el último trimestre del año 2024, al realizar este estimado se ve una reducción en el costo de disposición, para tener un mayor panorama del ahorro se decide comparar los costos de disposición del 2023 y el 2024 con los costos aproximados del Co-proceso.

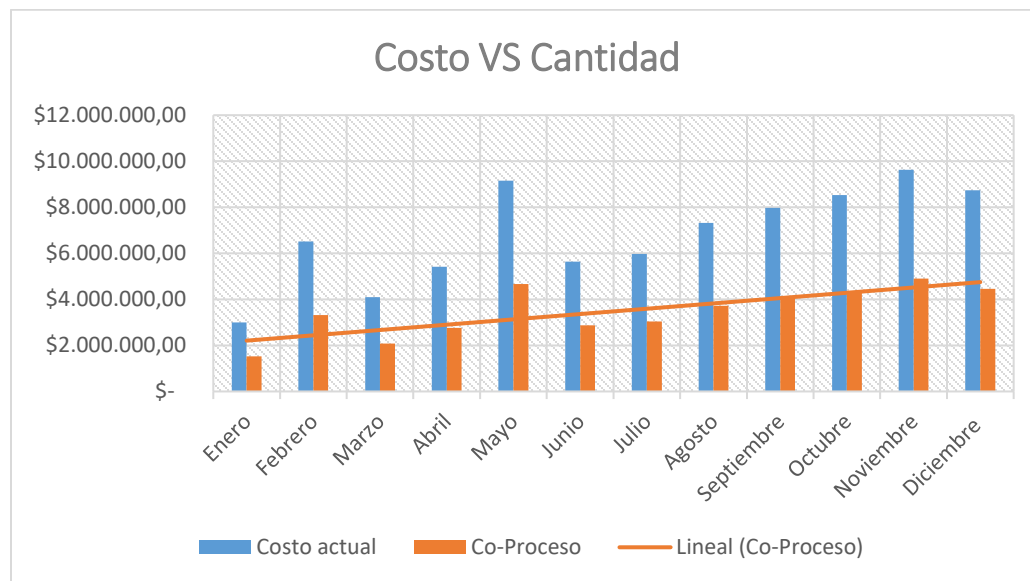
Tabla 9*Costo de Disposición con el Modelo Actual y el Co-Proceso para el Año 2023*

| Meses | Ton | Costo actual | Costo Co-Proceso |
|------------|-----|-----------------|------------------|
| Enero | 109 | \$ 2.997.500,00 | \$ 1.526.000,00 |
| Febrero | 237 | \$ 6.517.500,00 | \$ 3.318.000,00 |
| Marzo | 149 | \$ 4.097.500,00 | \$ 2.086.000,00 |
| Abril | 197 | \$ 5.417.500,00 | \$ 2.758.000,00 |
| Mayo | 333 | \$ 9.157.500,00 | \$ 4.662.000,00 |
| Junio | 205 | \$ 5.637.500,00 | \$ 2.870.000,00 |
| Julio | 217 | \$ 5.967.500,00 | \$ 3.038.000,00 |
| Agosto | 266 | \$ 7.315.000,00 | \$ 3.724.000,00 |
| Septiembre | 290 | \$ 7.975.000,00 | \$ 4.060.000,00 |
| Octubre | 310 | \$ 8.525.000,00 | \$ 4.340.000,00 |
| Noviembre | 350 | \$ 9.625.000,00 | \$ 4.900.000,00 |
| Diciembre | 318 | \$ 8.745.000,00 | \$ 4.452.000,00 |

Nota. Autoría propia.

Figura 17

Grafica de la Cantidad de Residuos del 2023 y el 2024 y sus Costos Disposición en las Dos Figuras (proveedor actual-Co-Proceso)



Nota. Autoría propia.

En la figura 16 se compara las dos modalidades de disposición, barras azules la figura actual y barras naranjas la figura de Co-Proceso, al hacer esta comparación podemos observar que la reducción de los costos es casi del 50% esto significa un ahorro importante para la empresa en costos de disposición sin contar los beneficios ambientales.

Indicadores de Eficiencia

A continuación, vamos a medir la eficiencia del proceso partiendo de que se haga su implementación, en la tabla 8 se realiza el ejercicio de sacar un costo para el último trimestre del 2024 con una cantidad promedio de toneladas Co-Procesadas.

Para definir la eficiencia voy a partir de un panorama de que se logre Co-Procesar el 100% de la cantidad de residuos y de una cantidad promedio de los residuos generados mes a mes en el 2023.

Formula del cálculo de eficiencia

Eficiencia en costos para la planta = **(costo de disposición final-costo Co-Proceso) / costo de disposición * 100**

Cálculo del costo de disposición con la figura actual por trimestre

Cantidad de residuos * Costo de disposición (\$ 27.000)

$$210 \times 27.000 = 5.700.000$$

Cálculo del costo de Co-Proceso

$$210 \times 14.000 = 2.940.000$$

Eficiencia del proceso

$$5.700.000 - 2.940.000 = 2.760.000$$

$$(2.760.000 / 5.700.000) * 100 = 48,4\%$$

Con este ejercicio podemos concluir que la eficiencia del proceso es del 48%, esto se traduce en un ahorro de \$ 2.760.000 mensuales

Eficiencia ambiental

Cálculo de la eficiencia ambiental del Co-Proceso

Cantidad a disposición final Ton – (cantidad Co-Procesada Ton- % de perdida en lavado planta proveedor) * 100

$$210 - (210 - 15\%) = 178.5 \text{ Ton}$$

$$(178.5 / 210) * 100 = 85\%$$

Con este ejercicio podemos concluir que la eficiencia ambiental del proceso es del 85%, esto se traduce en una disminución de vertimientos y desechos sólidos mensuales de 178.5 Ton, que iban a parar a un botadero de Ibagué limpia.

Análisis de la Fase 3 “Análisis Costo Beneficio del Co-Proceso Frente al Proceso Actual”

En el planteamiento del análisis de costo y beneficio observamos cuánto cuesta la figura actual y cuanto nos costaría la implementación de la figura del Co-Proceso. Cuando analizamos los costos de disposición final para el año del 2023 observamos unos costos importantes que al comparar con lo que nos cuesta el Co-Procesamiento identificamos una oportunidad grande de ahorro y beneficios ambientales.

Al realizar el cálculo de los indicadores de eficiencia podemos observar que representa en ahorros para la planta una cifra importante y en beneficios ambientales. pensaría que es donde se tiene un mayor porcentaje de eficiencia, los ahorros en costos de disposición son de un de un 48% esto es casi un ahorro del 50% frente a la figura que se está ejecutando, con respecto a la eficiencia ambiental es donde se observa un mayor porcentaje de beneficio, tenemos una eficiencia del 85% esto quiere decir que estamos teniendo un mayor beneficio en la línea ambiental, estamos evitando que 178 Ton de residuos de producción de concreto vayan a parar a un botadero mensualmente. Para la ciudad de Ibagué es un beneficio muy importante esto se debe a que solo cuenta con un botadero autorizado al realizar el Co-Proceso ayudo a que la vida útil de este botadero se ha más larga, adicional evito que la acides del cemento tenga contacto con el suelo y cauce esterilidad y vertimientos a fuentes hídricas y el subsuelo.

Proveedores de planta Cemex Ibagué

Planta Cemex Ibagué tiene su esquema de proveeduría conformado por proveedores en los municipios del Guamo, Saldaña y Suarez Tolima y en el municipio de Girardot, para que alguno de los proveedores de planta ibague pueda apoyar o realizar el Co-Proceso debe cumplir con un requerimiento mínimo de su proceso que es el realizar lavado del material. El residuo de producción de concreto contiene alto contenidos de lodos y material fino que la única forma de eliminarlo es por lavado, debe ser indispensable que el proveedor cuente con un equipo de lavado y eliminación de material finos.

Caracterización de los Proveedores

De acuerdo con lo mencionado y las necesidades específicas que tiene el material para poder ser procesado se realiza una validación de los procesos de los proveedores y ver cuáles de ellos tienen proceso de lavado en su proceso de producción.

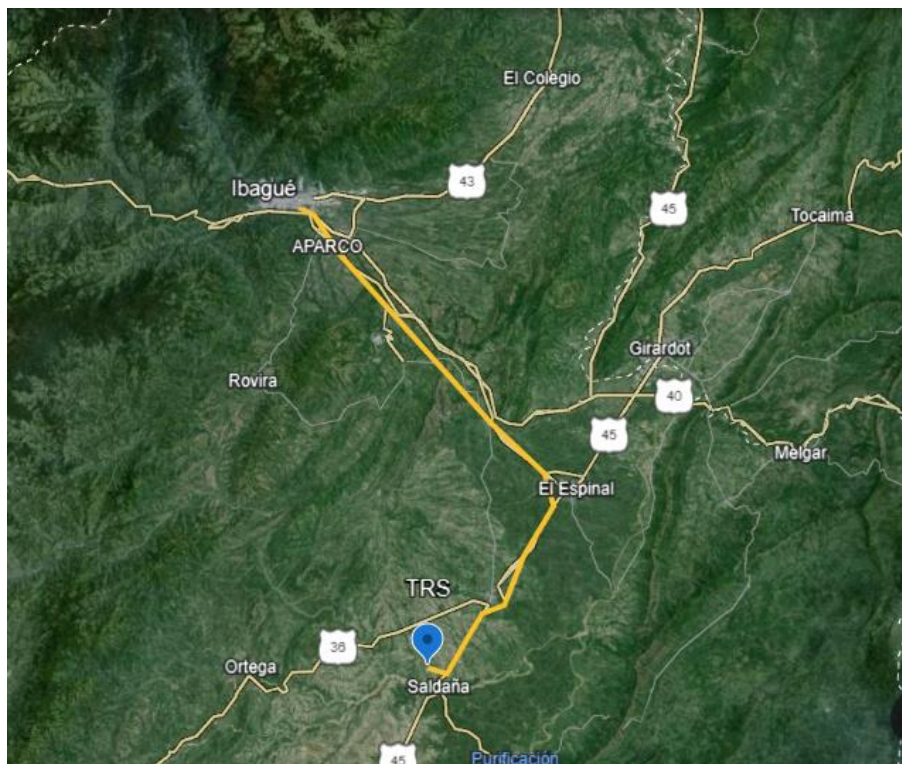
Triturados del Rio Saldaña (TRS)

Esta es una planta que está ubicada en el municipio de Saldaña a 85 kilómetros de la ciudad de Ibagué, realiza su explotación del río Saldaña, de este río explota un crudo arenoso con poco contenido de grava porcentualmente es un 70% de arena y 30% de grava, tiene una planta de beneficio con una capacidad de procesar unos 80 m³ por hora. Su planta está compuesta por una tolva de alimentación en la que se vierte el crudo de río para ser transportado por una banda que lo lleva a la primera zaranda que clasifica el crudo por tamaño de partícula, todo el material que se ha inferior a 8 mm de diámetro es enviado a la canal de lavado que conduce el material a una rueda noria la cual realiza el lavado del material y lo coloca en la banda transportadora que lo lleva al cono y se acopia como arena natural. El material que es retenido sobre la malla de 8 mm este va directo a un impactor (molino de piedra) que realiza el proceso de desintegración

mediante impacto contra unas aspas en forma de hélice las cuales lanzan el material contra las paredes del equipo y fragmentan el material, después de esto el material es transportado a una segunda zaranda la cual clasifica por mallas de 28 mm, 14 mm y 6 mm lo que pasa la malla de 28 mm y se retiene sobre la malla de 14 mm se conduce por una banda hasta un cono de acopio como grava de 1", lo que pasa la malla de 14 mm y retiene sobre la malla de 6 mm es conducido por una banda hasta un cono de acopio como grava de ½", por último el material que pasa por la malla de 6 mm se lleva a un cono de acopio como arena de trituración.

Figura 18

Ubicación de la Planta de TRS y Ruta Hacia Planta Ibagué Google Earth



Nota. Obtenida de Google Earth.

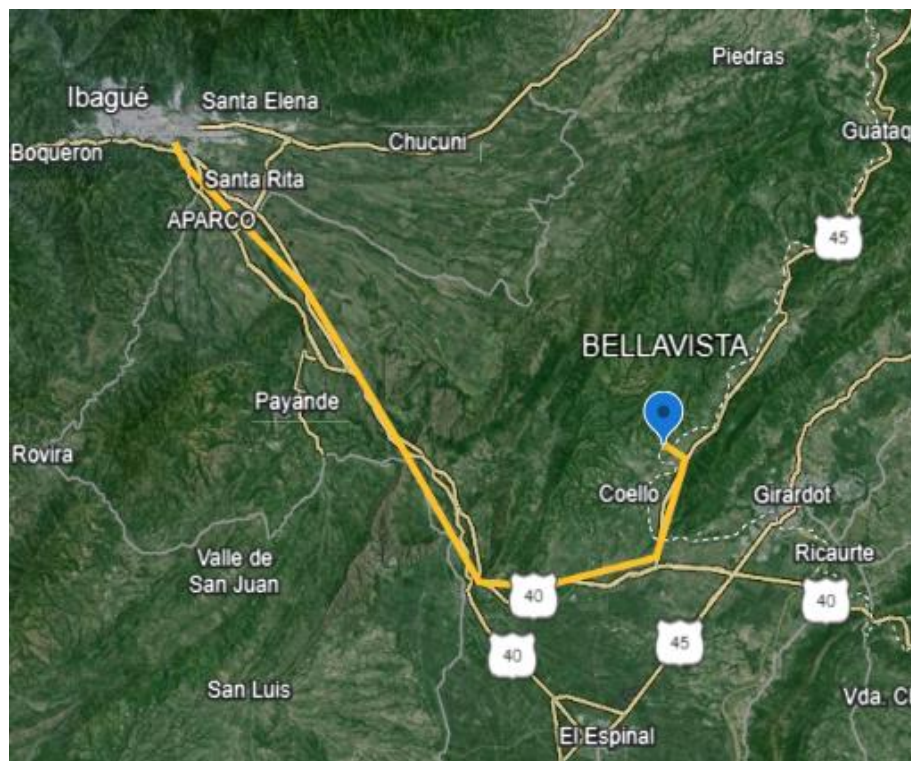
Figura 19*Planta de TRS**Nota.* Autoría propia.***Gravillera Bellavista***

Esta es una planta que está ubicada en el municipio de Girardot a 74 kilómetros de la ciudad de Ibagué, realiza su explotación del río Magdalena y de terrazas de depósitos antiguos de materiales volcánicos, de este río explota un crudo con una relación arena/grava de 50/50, tiene una planta de beneficio con una capacidad de procesar unos 70 m³ por hora. Su planta está compuesta por una tolva de alimentación que está conectada con un equipo de trituración primario la cual reduce material de hasta 25" x 36" a 3" luego de esto va a un equipo de separación y lavado llamado trómel el cual es un cilindro hecho de una malla de 8 mm el cual va girando y deja pasar el material con tamaño inferior a 8 mm, después este es conducido por canales a una rueda noria la cual aplica un segundo lavado del material y lo coloca en la banda

transportadora que lo lleva al cono y se acopia como arena natural. El material que es retenido sobre la malla de 8 mm este va directo a un impactor (molino de piedra) que realiza el proceso de desintegración mediante impacto contra unas aspas en forma de hélice las cuales lanzan el material contra las paredes del equipo y fragmentan el material, después de esto el material es transportado a una segunda zaranda la cual clasifica por mallas de 28 mm, 14 mm y 6 mm lo que pasa la malla de 28 mm y se retiene sobre la malla de 14 mm se conduce por una banda hasta un cono de acopio como grava de 1", lo que pasa la malla de 14 mm y retiene sobre la malla de 6 mm es conducido por una banda hasta un cono de acopio como grava de ½", por último el material que pasa por la malla de 6 mm se lleva a un cono de acopio como arena de trituración.

Figura 20

Ubicación de la Planta de Bellavista y Ruta Hacia Planta Ibagué Google Earth



Nota. Obtenida de Google Earth

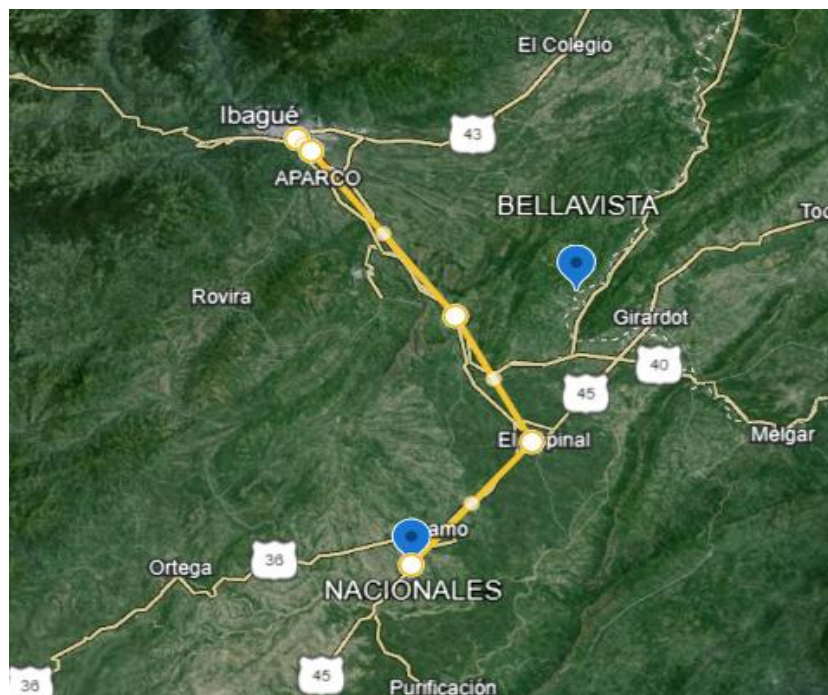
Figura 21*Planta de Bellavista**Nota.* Autoría propia.***Agregados Nacionales***

Este es un proveedor que cuenta con 2 plantas una que está ubicada en el municipio de Saldaña a 85 kilómetros de la ciudad de Ibagué y la otra en el municipio del Guamo Tolima a 90 kilómetros de la ciudad de Ibagué, realiza su explotación del río Saldaña y el río Cucuana, de estos ríos se explota un crudo arenoso con poco contenido de grava porcentualmente es un 70% de arena y 30% de grava, ambas plantas de beneficio tienen una capacidad de procesar unos 130 m³ por hora. Las plantas están compuestas cada una por una tolva de alimentación en la que se vierte el crudo de río para ser transportado por una banda que lo lleva a la primera zaranda que clasifica el crudo por tamaño de partícula, todo el material que se ha inferior a 8 mm de diámetro es enviado banda transportadora que lo lleva al cono y se acopia como arena natural. El material

que es retenido sobre la malla de 8 mm este va directo a un impactor (molino de piedra) que realiza el proceso de desintegración mediante impacto contra unas aspas en forma de hélice las cuales lanzan el material contra las paredes del equipo y fragmentan el material, después de esto el material es transportado a una segunda zaranda la cual clasifica por mallas de 28 mm, 14 mm y 6 mm lo que pasa la malla de 28 mm y se retiene sobre la malla de 14 mm se conduce por una banda hasta un cono de acopio como grava de 1", lo que pasa la malla de 14 mm y retiene sobre la malla de 6 mm es conducido por una banda hasta un cono de acopio como grava de ½", por último el material que pasa por la malla de 6 mm se lleva a un cono de acopio como arena de trituración.

Figura 22

Ubicación de la Planta de Nacionales y Ruta Hacia Planta Ibagué Google Earth



Nota. Obtenida de Google Earth

Figura 23*Planta de Nacionales*

Nota. Autoría propia.

Análisis de Proveedores

Al realizar la descripción del proceso y las necesidades ya mencionadas para procesar los residuos, se observa que hay dos proveedores que tienen el tipo de proceso que necesita, estos son Triturados del Rio Saldaña (TRS) y Gravillera Bellavista, partiendo de esta premisa se solicita a cadena de suministro el análisis de los fletes teniendo las siguientes conclusiones.

El costeo de los fletes efectivamente da \$ 14.000 por llevar una Ton de residuos a cualquiera de las 2 planta TRS o Bellavista, este flete se les plantea a los transportadores y es aceptado, de esta forma se tendría ya la posibilidad de mover residuos de producción de concreto a cualquiera de las plantas.

El proveedor bellavista autoriza llevar un viaje de pruebas a sus instalaciones para realizar el Co-Proceso, la idea es poder realizar el procedimiento y revisar la proporción justa para poder mezclar y garantizar que las condiciones físicas de la arena y grava se mantengan dentro de los límites técnicos admisibles.

Análisis de la Fase 4 “Descripción e Identificación de los Proveedores de Planta Ibagué”

Para esta fase se realizó la caracterización de los principales proveedores de planta Ibagué, se buscaba obtener información de su proceso, distancias, capacidades de producción y otras características importantes para realizar el Co-Procesamiento, se tienen proveedores importantes con unas capacidades alta de producción como agregados Nacionales pero su proceso sin lavado no permite aprovechar los residuos de producción de concreto, de este análisis salen dos proveedores que cumplen con los requerimientos técnicos para Co-Procesar.

Al realizar la validación con los proveedores, el proveedor bellavista se interesa por hacer una prueba piloto con este material, se define un flete compensado con ayuda de cadena de suministro, al realizar la negociación de flete se tiene un ahorro importante frente a la figura actual de disposición, para que esta figura funcione se debe contar con material para transportar desde Gravillera Bellavista para planta Ibagué de esta forma puedo implementar la figura de flete compensado.

Prueba Piloto de implementación del Co-Procesamiento mediante viaje de prueba

De acuerdo con lo manifestado por el proveedor Bellavista se decide realizar un viaje de prueba para validar las condiciones del material, definir la proporción de mezclado, identificar oportunidades de mejora en el material, transporte condiciones etc. Ya teniendo definidos fletes con los transportadores solo queda realizar la solicitud de autorización al área de sostenibilidad de la empresa para llevar el viaje de prueba.

Se realiza la solicitud al jefe de plata y la coordinadora de sostenibilidad de la zona al ser un proveedor actual de Planta Ibague y de Cemex ya cuenta con una validación minero ambiental y está avalado para poder realizar este tipo de proceso.

Selección de la Muestra Representativa

Para poder adelantar el viaje de prueba se debe seleccionar una muestra representativa de los residuos de producción de concreto, para este gracias a la disponibilidad de planta Cemex Ibague se logra conformar una muestra que cuente con los tres principales residuos que son sobrantes de materia prima de producción, finos del pozo de lavado y residuos de viajes devueltos, tal como se observa en la Figura 23, muestra contaba con este tipo de residuos y era representativa de los residuos de producción de planta Cemex Ibague.

Figura 24

Muestra Conformada en Planta para el Viaje de Prueba



Nota. Autoría propia.

Viaje de Prueba

De acuerdo con la autorización de la coordinadora de sostenibilidad y del jefe de planta se define realizar un viaje de prueba este se realiza el 8 de abril del 2024 se carga el carro de placas SRN870 a las 7:00 Pm, se define cargar en las horas de la noche debido a que se necesita que el vehículo maniobre dentro del patio de la planta y en el día es difícil porque están en cargue los camiones revoladores y existe el riesgo de ocasionar un accidente.

Se realiza el cargue del vehículo con 34, 11 toneladas con el fin de descargar el día siguiente en la planta de Bellavista y retornar con agregado a planta ibague. Al realizar el viaje de prueba uno de los puntos clave es la hora de cargue pues es difícil que los tractocamiones

interactúen en el mismo espacio se debe hacer de forma coordinada para no tener ninguna novedad.

En cuanto al cargue de los vehículos no se tiene ninguna novedad ya que es el mismo proceso que se viene realizando con el otro contratista, la diferencia radica en el tipo de vehículo y la capacidad de los mismos pues el contratista actual carga en vehículos doble troque con una capacidad máxima de cargue de 20 toneladas, el vehículo de prueba que se carga tiene una capacidad de 35 toneladas adicional a esto se debe controlar el peso total del vehículo no debe sobrepasar las 53 toneladas ya que sobre la vía al proveedor hay una báscula que controla los pesos de los vehículos y si no se ajustan a los pesos reglamentarios les impone un comparendo.

Figura 25

Cargue del Vehículo Cargado en Planta



Nota. Autoría propia.

Figura 26

Vehículo Descargando en Planta del Proveedor



Nota. Autoría propia.

Co-Proceso del Material

Al descargar los residuos de producción en la planta Bellavista como se ve en la figura 25, el propietario y jefe de la mina un ingeniero de minas con 20 años de experiencia decide realizar una mezcla de 4 (cuatro) a 1(uno), cuatro paladas del cargador de crudo de rio por una palada del cargador de residuos de producción de concreto, porcentualmente representa un 20% de mezcla. Se realiza la adición del material se observa que pasa por la criba alimentadora sin problema y pasa a clasificarse en la zaranda. Inicialmente los residuos de concreto serán destinados a la producción de arena, se configura la planta para que todo el material que no pasa la malla de 8 mm llegue al molino o impactor con el fin de que se convierta en arena.

Figura 27

Cono de Producción



Caracterización del material Primer Prueba

Al realizar el Co-Proceso se toma una muestra de la arena que se produce con el fin de realizar la caracterización del material y revisar si se encuentra dentro de los límites permisibles para la gradación de arena para concreto según la NTC 174

Tabla 10*Tabla de Limites Granulométricos de la Arena para Producción de Concreto*

| Tamiz NTC 32 (ASTM E11) | Porcentaje que pasa |
|-------------------------|---------------------|
| 9,5 mm | 100 |
| 4,75 mm | 95 a 100 |
| 2,36 mm | 80 a 100 |
| 1,18 mm | 50 a 85 |
| 600 um | 25 a 60 |
| 300 um | 10 a 30 |
| 150 um | 2 a 10 |

Nota. Valores tomados de la norma NTC 174**Tabla 11***Tabla de Limites Granulométricos Obtenidos en la Prueba Piloto*

| Tamiz NTC 32 (ASTM E11) | Porcentaje que pasa NTC | Porcentaje que pasa prueba |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 9,5 mm | 100 | 96,4 |
| 4,75 mm | 95 a 100 | 85,2 |
| 2,36 mm | 80 a 100 | 63 |
| 1,18 mm | 50 a 85 | 49,7 |
| 600 um | 25 a 60 | 36,6 |
| 300 um | 10 a 30 | 26,4 |
| 150 um | 2 a 10 | 19 |
| 0,075 um | 0 a 7 | 15 |

Nota. Valores de la gradación realizada autoría propia.

Al realizar la gradación que se comparte los valores en la tabla 11 se observa que no cumple los limite admisibles para ser una arena utilizada en la producción de concreto según la norma NTC 174, se observa que supera los límites en varios de los tamices, se obtiene una gradación defectuosa.

Análisis de la Primer Prueba

Al realizar el análisis de la gradación observamos que el problema inicia en desde el tamiz 9,5 mm, en este tamiz no debe retener material, adicional el porcentaje que pasa por el tamiz 0,075 um supera el límite de 7%, esto se debe a que el porcentaje de adición de residuos de concreto está muy alto o que se debe incrementar el lavado. Al no cumplir los límites admisibles de la gradación no se puede utilizar como arena para concreto. Al realizar un análisis visual del material se observa una arena gruesa con alta posibilidad de ocasionar mal aspecto en el concreto, al ser una arena gruesa tiene alta posibilidad de ocasionar malos acabados en los elementos que se fundan con este tipo de arena, adicional el porcentaje que pasa por el tamiz 0,075 um en el doble de lo que permite la NTC 174 esto ocasiona una arena de bajo desempeño que necesita una mayor cantidad de cemento y aditivos para tener un desempeño ideal.

Ajustes y Conclusiones de la primera Prueba

Al identificar que tenemos sobre tamaños en la arena se decide ajustar las mallas se retiran las mallas de 8 mm y se colocan mallas de 6 mm con el fin de evitar que pasen partículas mayores a 6 mm, con este cambio esperamos no tener material retenido en el tamiz de 9,5 mm, bajar el retenido de material en el tamiz 4,75 mm de esta forma se obtiene una arena más fina.

El porcentaje que pasa el tamiz 0,075 um es de un 15% el doble de lo que permite la NTC 174, con el fin de poder bajar este porcentaje y que este por debajo del 7% se toman las siguientes medidas:

Modificar la proporción de mezcla de los residuos de concreto con el crudo de río, en la prueba inicial se mezcló un 80/20 que equivale a un 80%, de crudo de río y un 20% de residuos de producción de concreto se toma la decisión de modificar la mezcla a un 85/15 un 85% de

crudo de río y 15% de residuos de producción de concreto, con esto se espera tener un menor aporte de materiales finos que pasan el tamiz 0,075 μm .

Incrementar la presión de lavado en la zaranda con el fin de remover una mayor cantidad de finos y que estos no se adhieran a las partículas más grandes, con esto se espera eliminar más finos en el primer procedimiento de lavado.

Disminuir la rotación de la rueda noria, actualmente la rueda tiene una relación de giro de 4 vueltas por minuto, la idea es dejarla en 2,5 vueltas por minuto esto le dará más tiempo de que los finos decanten y con un mayor tiempo de la arena en inmersión se espera eliminar una mayor cantidad de finos en el segundo y último lavado.

Caracterización del material Segunda Prueba

Se realiza una segunda prueba con los ajustes mencionados en las conclusiones anteriores a continuación, se comparte los valores de la gradación obtenida.

Tabla 12

Tabla de Límites Granulométricos Obtenidos en la Prueba Piloto

| Tamiz NTC 32 (ASTM E11) | Porcentaje que pasa NTC | Porcentaje que pasa prueba |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 9,5 mm | 100 | 100 |
| 4,75 mm | 95 a 100 | 94 |
| 2,36 mm | 80 a 100 | 85 |
| 1,18 mm | 50 a 85 | 76 |
| 600 μm | 25 a 60 | 49 |
| 300 μm | 10 a 30 | 19 |
| 150 μm | 2 a 10 | 7 |
| 0,075 μm | 0 a 7 | 3,7 |

Nota. Valores de la gradación realizada autoría propia.

Tabla 13*Ensayo de la Densidad de la Arena*

| Tamiz NTC 32 (ASTM E11) | Datos |
|---|-------|
| B = Masa al aire de la muestra secada al horno (g). | 491,6 |
| A=Masa al aire muestra SSS (g) | 500 |
| C=Masa del picnómetro lleno de agua (g) | 681 |
| D=Masa del picnómetro con agua hasta su capacidad y muestra (g) | 989,3 |
| Ds Aparente (g/cm ³) $B/(C+A-D)$ | 2,56 |
| Ds Aparente SSS (g/cm ³) $A/(C+A-D)$ | 2,61 |
| Ds Nominal (g/cm ³) $B/(C+B-D)$ | 2,68 |
| Absorción (%) $((A-B)/B)*100$ | 1,71 |

Nota. Valores del ensayo de densidad, autoría propia

Análisis de la Segunda Prueba

Al realizar una inspección visual al material de la segunda prueba producido se observa una arena más fina, con un mejor aspecto y más limpia. Al realizar la gradación de este material y analizar los resultados podemos ver que se ajusta a los límites indicados por la norma NTC 174 para las arenas de producción de concreto, de esta forma se define los lineamientos de operación para la planta y poder aprovechar los residuos de producción de concreto.

resultado del Co-Proceso se puede consumir sin ningún problema ya que cumple con las especificaciones técnicas para ser utilizada como arena para concreto.

Análisis de la Fase 5 “prueba piloto de Co-Procesamiento”

Se realizan dos pruebas piloto la primera se identifican varias oportunidades de mejorar con el manejo del material desde la mezcla realizada y los equipos utilizados, se realizan ajustes para la segunda prueba los cuales fueron modificar la mezcla del material (crudo-residuos) y parámetros de los equipos, de esta forma se obtiene una arena que cumple especificaciones.

Plan de Co-procesamiento para la Planta Cemex de Ibagué

De acuerdo con la investigación y pruebas realizadas se logró definir un plan de Co-Proceso para los residuos de producción de concreto de planta Cemex Ibague, actualmente planta Cemex Ibague dispone sus residuos con un contratista llamado Maquitrans este contratista lo lleva a un relleno de la empresa pública Ibague limpia. Como iniciativa de economía circular se realiza el estudio para implementar un plan de procesamiento de los residuos de producción de concreto en planta Cemex Ibague. De acuerdo el estudio realizado se genera el siguiente plan:

Tabla 14*Planta de Co-Procesamiento para la Planta de Concreto Cemex Ibagué*

| Descripción del proceso | actividades | Responsable de área | Tiempos | Financiación | Seguimiento | Responsable de seguimiento |
|--|--|--|--|---|--|---|
| El plan de Co-Procesamiento de residuos de concreto de planta de cemento Ibagué trata de introducir estos residuos como materia prima a través del Co-proceso que lo realiza unos de los proveedores de materia prima (arenas y gravas) el plan trata de que el proveedor mezcle estos residuos con su materia prima (crudo de río). | Acopio de los residuos de en los cubículos de acopio. Cargue de los vehículos en planta de cemento Ibagué. Descargue de los vehículos en planta de Bellavista. Mezcla de los residuos con crudo de río en relación de 85/15, 85% de crudo de río y 15% de residuos de producción de concreto. Proceso de clasificación | Coordinador de producción. Jefe de planta Ibagué. Transportadores. Personal de planta de gravillera Bellavista. Jefe de planta de gravillera Bellavista. | Inicio en octubre 2024. Primera revisión de resultado s 04 de enero 2025 | Se financia con recursos propios de la empresa, actualmente se realiza el pago a un contratista que dispone los residuos, el plan de Co-Procesamiento ofrece un ahorro importante con respecto a la figura actual | Pesos reglamentarios de vehículos. Se realizan visitas semanales por parte de seguridad vial para validar condiciones de la vía, también se realiza visitas semanales de calidad de agregados para validar las condiciones del agregado y que se esté cumpliendo las proporciones de mezcla. Acompañamiento a producción de jefatura de planta | Coordinador de producción. Jefe de planta de cemento Ibagué. Instructor de seguridad vial. Ingeniero de calidad de agregados. Coordinador de sostenibilidad |

Conclusiones

La producción de residuos de concreto en la planta Cemex Ibagué está directamente relacionada con el volumen de producción. Al aumentar la producción, se incrementa la frecuencia de ciertos subprocesos, como la carga de vehículos y el control de calidad, que generan más residuos. Además, los viajes devueltos por incidencias también contribuyen al aumento de residuos. En 2023, los picos de producción demostraron claramente un incremento en la generación de residuos. Esto evidencia que la gestión de residuos debe ajustarse para manejar eficientemente los aumentos en la producción.

Al analizar los diagramas del proceso general de la planta Cemex Ibagué, se observa una logística bien organizada desde la solicitud del cliente hasta la entrega del concreto terminado. Se identifican cuatro subprocesos principales generadores de residuos y se destaca el control de calidad a lo largo del proceso. La planta cuenta con equipos para la limpieza, sedimentación y almacenamiento de residuos. El análisis de costos para 2023 muestra que el Co-Proceso ofrece una significativa oportunidad de ahorro que puede estar aproximadamente en 33 millones de pesos además beneficios ambientales en comparación con los costos actuales de disposición final de residuos.

Al calcular los indicadores de eficiencia, notamos que la planta puede lograr ahorros considerables y beneficios ambientales importantes. Los ahorros en costos de disposición alcanzan el 48%, casi un 50% en comparación con el método actual. En términos de eficiencia ambiental, se observa el mayor beneficio, con una eficiencia del 85%, lo que significa que estamos evitando que 178 toneladas de residuos de producción de concreto terminen en un vertedero cada mes. Para la ciudad de Ibagué, esto representa un beneficio significativo, ya que solo cuenta con un vertedero autorizado. La implementación del Co-Proceso contribuye a

prolongar la vida útil de este vertedero, además de evitar que la acidez del cemento contamine el suelo, cause esterilidad y provoque vertidos en fuentes hídricas y el subsuelo.

Se caracterizaron los principales proveedores de la planta de Ibagué para evaluar su viabilidad en el Co-Procesamiento. Aunque Agregados Nacionales tiene alta capacidad de producción, su proceso sin lavado limita el uso de residuos de concreto. Sin embargo, se identificaron dos proveedores adecuados, destacando Bellavista, que mostró interés en una prueba piloto. Se negoció un flete compensado, logrando un ahorro significativo respecto al método actual de disposición. Para implementar este esquema, es esencial contar con material para transportar desde Gravillera Bellavista a la planta de Ibagué, aprovechando el flete compensado.

Se llevaron a cabo dos pruebas piloto. En la primera, se identificaron varias oportunidades de mejora en el manejo del material, tanto en la mezcla realizada como en los equipos utilizados. Para la segunda prueba, se realizaron ajustes que incluyeron modificar la mezcla del material (crudo y residuos) y ajustar los parámetros de los equipos. Como resultado, se obtuvo una arena que cumple con las especificaciones técnicas consignadas en la Norma Técnica Colombiana 175 la cual menciona los límites de permisible que deben cumplir los agregados para la fabricación de concreto.

Bibliografía

Ambiente, S. d. (2015). Gestion Integral de RCD. *Alcaldia de Bogota*, 1-44.

ARGOS. (13 de 05 de 2024). *Pagina oficial*. Obtenido de Pagina oficial: <https://argos.co/greco-a-la-vanguardia-del-aprovechamiento-de-escombros/#:~:text=Greco%20busca%20procesar%20cerca%20de,el%20transporte%20de%20estos%20materiales>.

ARGOS, Parr. 8. (s.f.). *Pagina ARGOS*. Obtenido de <https://argos.co/greco-a-la-vanguardia-del-aprovechamiento-de-escombros/>

Barrientos, F. (12 de Mayo de 2016). *Blog CARTIF*. Obtenido de Blog CARTIF: <https://blog.cartif.es/los-escombros-la-gestion-de-rcd-en-el-mundo/>

Benjamin, A. H. (2023). *Portals.iucn*. Obtenido de Portals.iucn: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/EPLP-091-Es.pdf>

CAMACOL. (2021). *Pagina Camacol*. Obtenido de Pagina oficial Camacol: <https://camacol.co/prensa/noticias/pib-del-sector-edificador-crecera-35-veces-mas-que-el-total-de-la-economia-en-el>

Circular, E. (2024). *Economia Circular*. Obtenido de Economia Circular: <https://economiecircular.org/economia-circular/>

Constitucio, A. 8. (s.f.).

Constitución Política. (1992). *Constitucion Colombia*. Obtenido de Constitucion Colombia: <https://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-3/articulo-80>

Constitución Política. (1992). *Constitucion Colombia*. Obtenido de Constitucion Colombia: https://www.constitucioncolombia.com/titulo-4/capitulo-2/articulo-107#google_vignette

Constitución Política. (1992). *Constitución colombia*. Obtenido de Constitución colombia:

<https://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-66>

Convention, S. o. (1992). *Basel.Int*. Obtenido de Basel.Int:

<https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>

CORTOLIMA. (11 de Noviembre de 2010). *CORTOLIMA*. Obtenido de PAGINA

CORTOLIMA: <https://www.cortolima.gov.co/sala-de-prensa/noticias/3088-cortolima-oficializa-permiso-para-escombrera-en-ibague>

Europea, C. (16 de Junio de 2022). *Legislacion Europea sobre las gestión de residuos*. Obtenido

de EUR-LEX: <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>

GROUP, S. (21 de Mayo de S.F). *Pagina Oficial*. Obtenido de

<https://www.cdgroup.com/es/sobre-nosotros/nuestros-proyectos/src-group>

Ibague, A. d. (2017). *Ibague.gov.co*. Obtenido de Ibague.gov.co:

<https://www.ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2018/19820-DOC-20180227.pdf>

Jmartinez. (23 de Marzo de 2011). *Residuos procedentes de la fabricacion de hormigon*

preparado. Obtenido de Residuos procedentes de la fabricacion de hormigon preparado:

https://www.cedex.es/recursos_cedex/NR/2B41635C-1D27-4915-AB31-853A2BF4766B/119906/RESIDUOSPROCEDENTESDELAFABRICACIONDEHORMIGONPREPAR.pdf

Ley 1931, 2018, Parr. 1. (s.f.). *Funcion Publica*. Obtenido de Funcion Publica:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765#:~:text=Po>

r%20medio%20de%20la%20cual,acciones%20de%20adaptaci%C3%B3n%20al%20cam
bio

Martinez, J. (2005). *Minambiente.gov.co*. Obtenido de Minambiente.gov.co:

<https://quimicos.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Guia-para-la-gestion-integral-de-RESPEL-Tomo-1-Centro-Regional-Basilea-Uruguay.pdf>

Minambiente. (2017). *Minambiente.gov.co*. Obtenido de Minambiente.gov.co:

<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0472-de-2017/>

Minambiente. (23 de Noviembre de 2021). *Resolucion 1257*. Obtenido de Resolucion 1257:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>

Minambiente. (2024). Obtenido de <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

Minambiente. (2024). *pagina ministerio del medio ambiente*. Obtenido de Pagina oficial del medio ambiente: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

Minambiente. (s.f.). *Pagina ministerio del medio ambiente*. Obtenido de Pagina ministerio del medio ambiente: <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>

Mintrabajo. (Agosto de 2019). *Pagina del ministerio del trabajo*. Obtenido de ministerio del trabajo comunicados:

<https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/comunicados/2019/agosto/sector-de-la-construccion-aporta-el-7-del-total-de-los-ocupados-del-pais-ministra-alicia-arango#:~:text=%E2%80%9CEl%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n,mil%20ocupados%20en%20el%20sector.>

Miteco. (13 de 05 de 2024). *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*.

Obtenido de Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/comision-europea.html>

PGIRS Ibagué, P. 75. (27 de Octubre de 2021). *Ibagué.gov.co*. Obtenido de Ibagué.gov.co:

<https://ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2021/24801-DOC-20211209180458.pdf>

Resolución 1257, 2021, Art 1°. (s.f.). *minambiente*. Obtenido de minambiente:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>

Romero, E. (julio de 2006). *uhu.es*. Obtenido de uhu.es:

<https://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>

TecRec. (05 de 2024). *pagina de TecRec*. Obtenido de pagina de TecRec:

<https://reciclados.net/quienes-somos/>

