



TRABAJO DE GRADO
Seminario Economía Circular

Transformación de escombros para la producción de cementos y concretos

Corporación Universitaria Remington.

Facultad de Ingenierías Ingeniería Industrial

Yury Alejandra Castañeda, Augusto Nicolas Reyes López

Lina Villa

Opción de Trabajo de grado Seminario-Diplomado.

2025

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a nuestras familias quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y amor nos han acompañado en cada paso de este camino académico. Su aliento constante y confianza en nuestras capacidades nos han motivado a seguir adelante y superar cada desafío.

A nuestros docentes y mentores, por compartir su conocimiento, guía y experiencia, ayudándonos a desarrollar nuestras habilidades y afianzar nuestra pasión por la ingeniería y la sostenibilidad.

A nuestros compañeros de estudio y amigos, con quienes hemos compartido innumerables momentos de aprendizaje, esfuerzo y perseverancia, fortaleciendo no solo nuestro crecimiento académico, sino también el personal.

Finalmente, dedicamos este trabajo a todas aquellas personas y organizaciones comprometidas con la sostenibilidad y la economía circular, que buscan transformar la industria y conservar el medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

A nuestros asesores académicos y profesores, por su guía invaluable, sus consejos y el tiempo dedicado a nuestra formación. Sus enseñanzas han sido fundamentales en nuestro desarrollo profesional y personal.

A la Corporación Universitaria Remington y a la Facultad de Ingenierías, por brindarnos las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación y proporcionarnos un espacio de crecimiento y aprendizaje.

A la empresa Holcim Colombia, por permitirnos desarrollar este proyecto en sus instalaciones y proporcionarnos el acceso a los recursos y datos necesarios para su ejecución. Su disposición y apoyo han sido clave para el éxito de este trabajo.

A nuestras familias, por su paciencia, comprensión y motivación constante. Su apoyo incondicional ha sido nuestra mayor fortaleza a lo largo de este proceso.

A nuestros compañeros de estudio y colaboradores en la investigación, por su entusiasmo, trabajo en equipo y compromiso con este proyecto. Su aporte ha sido esencial para la concreción de nuestros objetivos.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo de esta investigación y nos impulsaron a dar lo mejor de nosotros mismos.

CONTENIDO

RESUMEN	6
PALABRAS CLAVE	7
MARCO CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL	8
Teorías Relevantes:	9
Modelos:	9
Contexto	9
Contexto Histórico:	10
Contexto Social:	10
Contexto cultural:	10
Contexto económico:	10
Situación actual:	11
Desafíos en la gestión de construcción circular:	11
Situación Futura Deseada:	11
Desarrollo e Implementación del Aprendizaje	12
Descripción del estándar GRI 301: MATERIALES	13
PRUEBAS PILOTO Y VALIDACIÓN	13
RESULTADOS Y BENEFICIOS	16
Incremento del valor del producto:	16
Estrategia de Sostenibilidad	16
Aprendizaje Técnico	19
Aprendizaje Económico	19
Aprendizaje Operacional y Normativo	19
CONCLUSION	21
REFERENCIAS	22

LISTADO DE ILUSTRACIONES

5

1 Ilustración: Creación de Matriz de Materialidad	14
2 Ilustración. Grupos de interés Externos.....	15
3 Ilustración. Cemento Industrial.....	17
4 Ilustración. Captación Escombros para producción cemento uso General	17
5 Ilustración. Limalla para concreto circular	18

En la industria de construcción, la generación de subproductos derivados de las actividades civiles e industriales produce desechos llamados escombros y debido a esto representa un problema para el manejo de disposición final, dado que en distintas ciudades cada día se presentan dificultades de espacio para los rellenos o disposiciones finales, por ende, es significativo tanto en términos de costos operativos como de impacto ambiental MI. La acumulación de estos residuos dificulta su manejo y disposición, generando desperdicio de material aprovechable y aumentando los costos asociados a su eliminación. Ante esta problemática, surge el proyecto de reciclar materiales provenientes de demoliciones y convertirlos en nuevos productos de construcción, Para alcanzar este objetivo, trabajamos basados en el estándar GRI de materiales en correlación con las políticas ambientales en Colombia.

productos de construcción: incluyendo escombros y material de demolición como materia prima en nuevos productos.

Sistemas constructivos positivos: construir sin impactar el medio ambiente en búsqueda de la preservación de la poblaciones y ecosistemas.

Energías sostenibles: El uso de estos residuos al final del proceso se transforman en energía para los hornos.

1. Subproductos: En cualquier proceso industrial el cual deriva un producto que pierde sus características hacia la depreciación de su valor.
2. Escombros: Desecho generado por una actividad constructiva o industrial.
3. Escombreras: es un espacio destinado para la disposición final de los residuos sólidos, el cual pretende en control de residuos sin perjudicar pública población, ecosistemas y la salud.
4. Limalla: subproducto derivado del proceso industrial al limar o raspar hierro o acero
5. Sostenibilidad: Capacidad del proceso para reducir el desperdicio y minimizar su impacto ambiental.

Economía Circular: Modelo que busca la reutilización y el reciclaje de materiales en la industria

Holcim inicio operaciones en Colombia en 1969, cuando la empresa local Cementos Boyacá S.A. recibió la vinculación del Grupo 'Holderbank', nombre que tenía Holcim en ese momento. En 2003, la compañía cambió su nombre comercial a Holcim (Colombia) S.A.

Holcim en Colombia se destaca en la producción de cemento y concretos además de implementar y comercializar de soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción, que aportan al cuidado y sostenimiento del medio ambiente.

Con más de 50 años de presencia en el país, Holcim Colombia forma parte del grupo Holcim, líder mundial en soluciones innovadoras y sostenibles para la construcción.

En Holcim Colombia se realiza el procesamiento de Clinker, donde se calcina una mezcla de materias primas como piedra caliza y arcilla a altas temperaturas en un horno, formando gránulos de Clinker, el principal componente del cemento. Posteriormente, el Clinker se muele junto con otras adiciones para obtener el cemento final. Holcim también se destaca por su enfoque en la sostenibilidad, produciendo Clinker 100% reciclado y utilizando combustibles derivados de residuos industriales para reducir la huella de carbono.

Detalles del proceso de procesamiento de Clinker en Holcim:

1. Extracción de materias primas:

La caliza y la arcilla, junto con otros componentes, se extraen de una cantera y se preparan para su procesamiento.

2. Trituración y preparación:

Las materias primas se trituran y se mezclan para obtener una mezcla uniforme.

3. Calcinación en el horno:

La mezcla de materias primas se calienta a temperaturas muy altas (entre 1350 y 1550 °C) en un horno, que puede ser un horno rotatorio, para que se produzca la calcinación.

4. Formación del Clinker:

Durante la calcinación, las materias primas reaccionan químicamente y se forman compuestos que forman el Clinker, un producto granular o en forma de bolas.

5. Molienda y obtención del cemento:

9

El Clinker se muele, junto con otras adiciones como yeso y adiciones alternativas, hasta obtener un polvo fino conocido como cemento.

6. Enfoque en la sostenibilidad:

Holcim se enfoca en la sostenibilidad, produciendo Clinker 100% reciclado y utilizando combustibles derivados de residuos industriales para reducir su impacto ambiental.

Teorías Relevantes:

Economía circular: La economía circular es un concepto que se enfoca en reducir el desperdicio y promover la reutilización y el reciclaje de recursos. La economía circular se aplica en la industria de la construcción, donde se busca reducir el impacto ambiental y promover la sostenibilidad.

Optimización de procesos: Estrategias y técnicas para mejorar la eficiencia de los procesos industriales y reducir la generación de subproductos no deseados. Dando un paso en la sostenibilidad e innovación

Modelos:

Modelo de flujo de materiales: Representación de cómo Clinker se integran en el proceso de producción y su impacto en la eficiencia y calidad del producto final.

Modelo de costos: Análisis de los costos asociados a la implementación del sistema de mitigación y extracción material particulado Clinker.

Contexto

La implementación de transformar escombros en materia prima para la producción de cemento y concreto incrementará el 30% el contenido reciclado del cemento .

La economía circular en los escombros para la producción de cementos y concretos contribuirá a la sostenibilidad ambiental al reducir la cantidad de residuos generados

Por la industria **construcción**.

Desarrollo de tecnologías de producción de Clíinker: La evolución de los métodos y tecnologías utilizados en la industria cementera lo largo del tiempo, incluyendo avances en el desarrollo de productos amigables al medio ambiente.

Contexto Social:

Impacto en la comunidad: Los efectos del hacinamiento en escombreras y disposiciones finales generan contaminación del aire y del agua afectando la calidad de vida de poblaciones aledañas, pérdida de valor de la propiedad debido a la proximidad y dificultades para acceso de los habitantes a servicios públicos.

Impacto en la biodiversidad: Se ven afectados los ecosistemas y causan pérdida de hábitat a las especies nativas.

Contexto cultural:

Percepción de la sostenibilidad: Actitudes y valores culturales relacionados con la protección del medio ambiente y la sostenibilidad, y cómo estos influyen en la aceptación de nuevas tecnologías y prácticas industriales.

Contexto económico:

Costos operativos y de eliminación: Análisis de los costos asociados a la captación de materiales demolición de construcción, incluyendo transporte, tratamiento y disposición final, así como los beneficios económicos de la reutilización de estos subproductos.

Desafíos en la gestión de construcción circular:

La implementación de soluciones para la producción de cemento y concreto en Holcim al proceso no solo generaría beneficios económicos para las industrias, al reducir costos de eliminación y recuperar recursos valiosos, sino que también contribuiría a la protección del medio ambiente y al desarrollo de una economía más circular y sostenible.

Situación Futura Deseada:

Implementación de soluciones innovadoras: El aumento demográfico se incrementa cada día y trae como consecuencia la búsqueda de construir viviendas e infraestructura, simultáneamente la generación de residuos a gran escala produce toneladas de residuos segundo a segundo, la logística inversa se hace primordial.

Por el motivo anterior se busca bajo los criterios y políticas ambientales en la recuperación de residuos así:

Calculando los volúmenes de escombros generados en la industria de la construcción.

Buscando nuevas alternativas para aumentar la capacidad de adquirir escombros para los productos.

Logrando un aumento continuo de adquisición de escombros (proporción de materiales que transformamos versus nuestros volúmenes de producción).

sostenibles que promuevan la economía circular.

En la industria construcción, la generación de subproductos derivados de las actividades de construcción es un problema frecuente en los costos de proyectos tanto privados y públicos. se hace necesario fortalecer la creación de nuevos productos que mitiguen el impacto ambiental fortaleciendo el procesamiento y la transformación de materias primas, creando procesos sostenibles.

Implementación de la Estrategia Transformar escombros de construcción en cementos y concretos.

Transformar escombros de construcción en cementos y concretos es una estrategia clave para optimizar el aprovechamiento de materiales residuales generados en la industria de la construcción, mejorando la creación de productos que no impacten negativamente el medio ambiente y reduciendo desperdicios. Para su implementación, se desarrolló teniendo en cuenta los estándares GRI:

1. Se recolectó la información.
2. Se obtuvieron documentos y actas de nuestra interacción con los proveedores, contratistas, e instituciones públicas y privadas.

Descripción del estándar GRI 301: MATERIALES

1. Contiene un requerimiento que proporciona información acerca de la manera cómo la organización gestiona sus impactos relacionados con materiales.

2. Incluye tres contenidos que proporcionan información acerca de los impactos de la organización relacionados con materiales.

PRUEBAS PILOTO Y VALIDACIÓN

Se realizó el proceso, basados en los estándares GRI que nos ayudan a entender cómo manejar la transformación de materias primas de las empresas, adicional se obtuvieron documentos de suma importancia, involucrando proveedores, contratista e instituciones públicas y privadas en la búsqueda de correlacionar los estándares de GRI con las políticas ambientales en nuestro país.

La estrategia de mitigar impactos ambientales, la matriz de materialidad nos permite identificar los principios claves para crear grupos interesados en mitigar esta problemática, dando como resultados la generación cifras y análisis, que su vez generan la participación de todos los sectores.

El enlace con los grupos interesados en la iniciativa ayudo a evidenciar hallazgos con pros y contras de aquellos impactos y realizar una evaluación de los procesos.

De acuerdo con lo anterior se seleccionó:

1. Clasificación y Tipología de escombros que aplique a la transformación de materias primas.
2. Identificación de riesgos, gestión y logística.
3. Posicionamiento en el mercado.

PROCESO DE GENERACIÓN MATRIZ DE MATERIALIDAD



Grupos de interés EXTERNOS



SECTOR CONSTRUCTOR

- Clientes
- Constructores
- Maestros de obra
- Competidores
- Profesionales relacionados
- Mesas sectoriales
- Legisladores
- Agremiaciones o asociaciones
- Ferreteros
- Distribuidores
- Industria
- Transportadores



GRUPOS ESTRATÉGICOS

- Organismos nacionales o internacionales
- Gremios y asociaciones
- Bancos
- Clientes
- Academia
- ONG's
- Comunidades
- Líderes comunitarios
- Proveedores
- Contratistas
- Cámaras de comercio
- Medios de comunicación
- Líderes de opinión e Influencer
- Iniciativas ciudadanas público-privadas
- Alianzas privadas
- Aseguradoras
- Fiduciarias
- Agencias de Cooperación Internacional
- Competidores
- Opinión pública
- Embajadas y representaciones consulares



SECTOR PÚBLICO

- Gobierno Nacional
- Gobiernos locales (alcaldías, gobernaciones, secretarías, entre otros)
- Mesas sectoriales gubernamentales
- Organismos reguladores y/o certificadores
- Legisladores
- Autoridades policiales y ejército
- Ministerios
- Entidades certificadoras



Grupos de interés INTERNOS



- Trabajadores
- Contratistas
- Proveedores
- Accionistas
- Sindicatos
- Otros inversores

Reducción del desperdicio: Se evita que 43,974 toneladas de residuos llegaran a escombreras, aprovechando estas materias primas como fuente de producción y como combustibles alternos para el horno de cemento.

Incremento del valor del producto: Se logró incrementar el valor del material de 1.200 COP/ton a 310.000 COP/ton.

Optimización de costos: Se redujeron costos operativos asociados a la eliminación de residuos.

Impacto ambiental positivo: la reducción de emisiones de CO₂ a 493 kg por tonelada de material cementante y la utilización de energía 100% renovable en sus plantas, con la implementación captación de materias primas por medio de los escombros y residuos industriales también ha evitado que más de 43,000 toneladas de residuos ingresen a escombreras mediante procesos de coprocesamiento.

Estrategia de Sostenibilidad

La estrategia de sostenibilidad se basó en los principios de economía circular y optimización de recursos industriales e innovación:

Reutilización de materiales: Integración de escombros en el proceso productivo en lugar de su disposición.

Reducción de emisiones: Disminución de partículas en el ambiente y optimización de recursos energéticos.

Automatización del proceso: Mejora en la eficiencia y reducción del desperdicio

Resultados del Proceso de captación escombros para la producción de cementos y concreto

3 Ilustración. Cemento Industrial



Esta materia prima generado a partir de escombros se logra para producir concretos más sostenibles y de alta durabilidad. Para este producto se utilizaron insumo de arcilla calcinada y escombros reciclados en las fórmulas con ello se reduce los rastros de CO₂ en edificios hasta en 50%

4 Ilustración. Captación Escombros para producción cemento uso General



Esta materia prima generado a partir de escombros clasificados en las fórmulas para todo uso general en la construcción siempre manteniendo la calidad en las mezclas con mayor resistencia.



Esta materia prima como es la limalla obtenida por medio de escombros industriales para su diseño de mezclas se destaca por agregar resistencia al concreto.

Aprendizaje Técnico

Caracterización y optimización: Ensayos físicos y químicos de la materia prima y el producto final.

Evaluación de emisiones y subproductos generados: Pruebas de desempeño bajo diferentes condiciones de operación.

Aplicaciones industriales: Medir resistencia, abrasión y composición del material de entrada.

Procesos de captura y manejo: Reducción de emisiones y cumplimiento ambiental.

Aprovechamiento de residuos como subproductos útiles, mejorando la eficiencia operativa al minimizar pérdidas de material.

Aprendizaje Ambiental Reducción de residuos Sostenibilidad en la industria

Menor impacto ambiental en vertederos y la atmosfera.

Aprendizaje Económico

Aprovechamiento de recursos: Se descubre que un material antes considerado residuo puede generar valor económico al incorporarse en otros procesos productivos.

Reducción de costos: Se aprende que reciclar insumos internos disminuye la necesidad de adquirir materia prima adicional.

Aprendizaje Operacional y Normativo

Optimización de procesos bajo legislación ambiental colombiana y su cumplimiento en cuanto a lo Regulatorio, la Implementación de un Sistema de Captación y Reprocesamiento de escombros en una Planta de producción de cemento es una solución Eficiente y Sostenible aplicando principios de economía circular

En la industria cementera, la eficiencia en el uso de los recursos y la mitigación del impacto ambiental son aspectos fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los procesos

La implementación de un sistema de captación y reprocesamiento de escombros en una planta cementera representa una solución innovadora que no solo optimiza el aprovechamiento del material, sino que también contribuye significativamente a la reducción de emisiones y desechos industriales. Con un diseño adecuado, esta tecnología puede generar importantes beneficios operacionales, económicos y, sobre todo, ambientales.

Desde el punto de vista operativo, la captación de escombros permite recuperar material que de otro modo se perdería en el proceso de disposición final. Este material puede reincorporarse al proceso productivo, mejorando la eficiencia en el uso de la materia prima y reduciendo la necesidad de extracción de nuevas reservas de materias primas. Además, la implementación de estos sistemas mejora la calidad del producto final, ya que permite controlar mejor la granulometría y la composición del material producido.

Económicamente, la recuperación y reprocesamiento de escombros supone una reducción en los costos de producción. Al disminuir la cantidad de materia prima desperdiciada y optimizar los recursos, se logra una mayor rentabilidad en el proceso industrial. Adicionalmente, las empresas que implementan estas tecnologías pueden beneficiarse de incentivos fiscales y certificaciones ambientales que mejoran su competitividad en el mercado.

Sin embargo, los beneficios más relevantes de esta tecnología enfocada en economía circular son los ambientales. La captación de escombros contribuye a la reducción de emisiones de partículas en el aire, lo que mejora la calidad del entorno y minimiza el impacto en la salud de las comunidades cercanas a las escombreras. Además, al disminuir la necesidad de extracción de insumos, se reduce el deterioro de ecosistemas naturales y la alteración de paisajes geológicos. La disminución de desechos industriales también alivia la carga en los sistemas de disposición de residuos, promoviendo un modelo de economía circular y reduciendo la huella ambiental de la industria.

La implementación de un sistema de captación y reprocesamiento de escombros en una planta de producción de cemento y concreto es una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa, optimizar los costos de producción y, sobre todo, minimizar el impacto ambiental del proceso. Con el diseño y la tecnología adecuados, este enfoque representa un paso fundamental hacia la sostenibilidad de la industria cementera y un modelo a seguir para otras industrias extractivas y de transformación de materiales.

La estrategia de transformar escombros para la producción de cemento y concreto ha demostrado ser una solución viable para la industria, generando beneficios significativos en eficiencia operativa, reducción de residuos y disminución del impacto ambiental.

Este modelo ha contribuido a la reducción de emisiones de CO₂, la optimización de recursos y la consolidación de procesos más sostenibles dentro de la operación de Holcim Colombia.

Desde el punto de vista económico, se destacan mejoras en la rentabilidad y competitividad de la empresa, al aprovechar subproductos como materias primas valiosas, reducir costos de disposición final y generar productos más atractivos en el mercado.

La estrategia adoptada fortalece el compromiso de la empresa con el cumplimiento de normativas ambientales, mejorando su posicionamiento frente a clientes, autoridades y la comunidad.

Se reduce el impacto ambiental en ecosistemas y poblaciones aledañas en donde se hace disposición final de los escombros.

Finalmente, se resalta la importancia de continuar con la medición de resultados, el ajuste de procesos y la búsqueda de nuevas oportunidades para cerrar ciclos productivos, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los principios de la economía circular.

Libro en línea:

Cunningham, W. P., Cunningham, M. A., OReilly, C. M.(2023). Principios de Ciencias Ambientales. McGraw-Hill Interamericana. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=31459>

Informe corporativo en línea:

holcim. (2024). Informe de sostenibilidad 2023. Recuperado de <https://www.informedesostenibilidadhc.com/economia-circular>

GRI 301 MATERIALES

file:///C:/Users/USER/Downloads/GRI%20301_%20Materiales%202016%20-%20Spanish.pdf

<https://www.globalreporting.org/pdf.ashx?id=14121&page=1>

<https://cecodes.org.co/2024/09/25/holcim-presenta-informe-de-sostenibilidad/>

Mamlouk, M. S., Zaniewski, J. P.(2009). *Materiales para ingeniería civil*. Pearson Educación.

<https://www.ebooks7-24.com:443/?il=3723>

Luis Navarro Castillo. (2010).Revista Ambiente Total. El megasismo y la gestión ambiental de escombros y materiales de construcción.. , 0-0. Recuperado de: <http://ambiente-total.ucentral.cl/>.

Smith, W. F., Hashemi, J.(2023). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*.

McGraw-Hill Interamericana. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=31451>