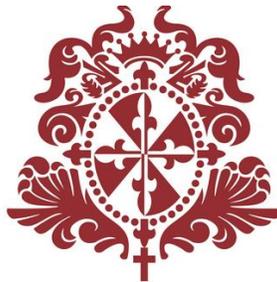


**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



Perfil Logístico del Sector Cemento en Colombia.

Estudio documental

Miguel Ángel Hernández Calderón.

Celia Elena Nieves de la Hoz.

Bogotá

2015.

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



Perfil Logístico del Sector Cemento en Colombia.

Estudio documental.

Miguel Ángel Hernández Calderón.

Celia Elena Nieves de la Hoz.

Fernando Salazar Arrieta.

Administración de Empresas  
Administración en Logística y Producción

Bogotá

2015

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Roberth, Gerardo y Julio, por su disposición y por el tiempo que dedicaron a ayudarnos. Para nosotros fue especialmente grata la sinceridad con la que contestaron nuestras inquietudes y la amabilidad con la que nos recibieron. Sus aportes fueron de vital importancia para la consecución de los objetivos de este proyecto.

## CONTENIDO

GLOSARIO	- 10 -
RESUMEN	- 13 -
ABSTRACT	- 14 -
INTRODUCCIÓN	- 15 -
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	- 16 -
2. JUSTIFICACIÓN	- 17 -
3. OBJETIVOS	- 18 -
3.1. OBJETIVO GENERAL	- 18 -
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- 18 -
4. ALCANCE Y VINCULACIÓN DEL PROYECTO	- 19 -
5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO	- 20 -
5.1. DEFINICIÓN	- 20 -
5.2. MATERIAS PRIMAS	- 21 -
5.3. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO	- 21 -
5.4. REQUISITOS DE ACEPTACIÓN DE CALIDAD	- 23 -
5.5. EMPAQUE	- 24 -
5.6. PRODUCTOS DE CEMENTO GRIS EN EL MERCADO COLOMBIANO.	- 24 -
6. PROVEEDORES	- 28 -
6.1. CALIZA	- 28 -
6.1.1. PROCESO DE EXPLOTACIÓN DE CALIZA	- 30 -
6.2. MATERIAS PRIMAS PARA ADICIÓN	- 35 -
6.3. CLINKER	- 40 -
6.4. EMPAQUE Y EMBALAJE	- 41 -
6.5. COMBUSTIBLES	- 42 -
7. PRODUCTORES	- 45 -
7.2. ANÁLISIS DE COSTOS Y DE ACTIVIDAD	- 52 -
7.3. DESCRIPCIÓN LOGÍSTICA DEL PROCESO	- 54 -

7.3.1.	LOGÍSTICA DE ENTRADA	- 54 -
7.3.2.	LOGÍSTICA INTERNA	- 65 -
7.3.3.	LOGÍSTICA DE SALIDA	- 79 -
8.	CLIENTES	- 83 -
8.1.	CONCRETERAS	- 85 -
8.2.	COMERCIALIZADORAS	- 88 -
8.3.	CONSTRUCTORES Y CONTRATISTAS	- 90 -
8.4.	FIBROCEMENTO	- 92 -
8.5.	PREFABRICADOS	- 93 -
9.	FLETES Y TRANSPORTES	- 95 -
9.1.	TRANSPORTISTAS	- 95 -
9.2.	TIPOS DE VEHÍCULOS	- 96 -
9.3.	RUTAS	- 98 -
9.4.	FLETES	- 118 -
9.5.	CUBICAJE	- 129 -
10.	CASO DE ESTUDIO: CEMENTOS DEL FUTURO SA	- 145 -
10.1.	SOLUCIÓN	- 150 -
10.1.1.	MODELO SOLUCIÓN	- 150 -
10.1.2.	METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN	- 151 -
	CONCLUSIONES	- 170 -
	RECOMENDACIONES	- 172 -
	BIBLIOGRAFÍA	- 173 -

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Producción anual de caliza cementera _____	- 30 -
Gráfico 2 Participación del mercado industria del cemento 2011 - 2014 _____	- 45 -
Gráfico 3 Producción anual de cemento en Colombia _____	- 46 -
Gráfico 4 Producción anual de <i>clinker</i> en Colombia _____	- 46 -
Gráfico 5 Procesos físico-químicos y temperaturas de la clinkerización _____	- 70 -
Gráfico 6 Consumo energético fabricación de cemento por proceso _____	- 76 -
Gráfico 7 Participación de los despachos por canal 2010 _____	- 84 -
Gráfico 8 Participación de los despachos por canal 2014 _____	- 85 -
Gráfico 9 Despachos a concreteteras por tipo de empaque 2010 – 2014 _____	- 86 -
Gráfico 10 Despachos a comercializadoras por tipo de empaque 2010 - 2014 _____	- 89 -
Gráfico 11 Despachos a constructoras y contratistas por tipo de empaque 2010-2014 _____	- 91 -
Gráfico 12 Despachos a fibrocemento por tipo de empaque 2010-2014 _____	- 93 -
Gráfico 13 Despachos a prefabricados por tipo de empaque 2010-2014 _____	- 94 -

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de entradas y salidas producción de caliza para cemento _____	- 32 -
Ilustración 2 Camión granelero con carpa _____	- 39 -
Ilustración 3 Buque granelero para cemento y <i>clinker</i> _____	- 41 -
Ilustración 4 Ciclo operacional de empresas de producción _____	- 53 -
Ilustración 5 Diagrama de entradas y salidas gestión de proveedores, planeación y compras. _____	- 56 -
Ilustración 6 Diagrama de entradas y salidas recepción, devoluciones y almacenamiento ____	- 59 -
Ilustración 7 Diagrama de entradas y salidas premezclado y molienda. _____	- 68 -
Ilustración 8 Diagrama de entradas y salidas acondicionamiento para entrada al horno y clinkerización _____	- 72 -
Ilustración 9 Diagrama de entradas y salidas molienda de cemento y empackado _____	- 77 -
Ilustración 10 Diagrama de entradas y salidas gestión de clientes, cargue y despacho de vehículos _____	- 80 -
Ilustración 11 Canales de distribución del cemento _____	- 83 -
Ilustración 12 Cubicaje de sacos de 50 Kg en pallet de 1m x 1,20m _____	- 130 -
Ilustración 13 Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en camión sencillo _____	- 131 -

Ilustración 14 Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en camión doble troque _____	- 132 -
Ilustración 15 Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en tracto camión C3S3 _____	- 133 -
Ilustración 16 Cubicaje de saco de 25 Kg en pallet de 1 m x 1,20 m _____	- 134 -
Ilustración 17 Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en camión sencillo _____	- 135 -
Ilustración 18 Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en camión doble troque _____	- 136 -
Ilustración 19 Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en tracto camión C3S3 _____	- 137 -
Ilustración 20 Cubicaje de saco de 42,5 Kg en pallet de 1m x 1,20 m _____	- 138 -
Ilustración 21 Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en camión sencillo _____	- 139 -
Ilustración 22 Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en camión doble troque _____	- 140 -
Ilustración 23 Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en tracto camión C3S3 _____	- 141 -
Ilustración 24 Cubicaje de Big Bag en camión sencillo _____	- 142 -
Ilustración 25 Cubicaje Big Bag en camión doble troque _____	- 143 -
Ilustración 26 Cubicaje de Big Bag en tracto camión C3S3 _____	- 144 -

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del cemento hidráulico según NTC 121 _____	- 22 -
Tabla 2 Cemento gris de uso general _____	- 25 -
Tabla 3 Cemento gris de uso estructural _____	- 26 -
Tabla 4 Cemento gris de uso marino _____	- 27 -
Tabla 5 Cemento gris de otros usos _____	- 27 -
Tabla 6 Distritos mineros con encadenamiento productivo de caliza _____	- 29 -
Tabla 7 Distritos mineros con encadenamiento productivo de yeso _____	- 37 -
Tabla 8 Distritos mineros con encadenamiento productivo de carbón _____	- 43 -
Tabla 9 Localización plantas de cemento Argos _____	- 48 -
Tabla 10 Localización plantas de cemento Cemex _____	- 49 -
Tabla 11 Localización plantas de cemento Holcim _____	- 50 -
Tabla 12 Localización plantas de cemento de los proyectos independientes _____	- 51 -
Tabla 13 Distribución de costos en la industria del cemento _____	- 52 -
Tabla 14 Indicadores de actividad de empresas cementeras 2012 _____	- 54 -
Tabla 15 Banda transportadora para material a granel _____	- 60 -
Tabla 16 Almacenamiento de caliza en patio y en domo _____	- 64 -
Tabla 17 Molino horizontal de bolas y molino vertical de rodillos _____	- 67 -
Tabla 18 Balsa para proceso húmedo y silo con torre pre-calentadora para proceso seco _____	- 69 -

Tabla 19 Hornos rotatorios para clikerización _____	- 73 -
Tabla 20 Maquinaria proceso de empaçado _____	- 78 -
Tabla 21 Equipos para cargue de cemento _____	- 81 -
Tabla 22 Descargue vehículos de cemento a granel _____	- 87 -
Tabla 23 Descargue y almacenamiento de cemento empaçado _____	- 90 -
Tabla 24 Configuración de vehículos transporte de cemento _____	- 97 -
Tabla 25 Ruteo desde la planta Valle - Argos _____	- 99 -
Tabla 26 Ruteo desde planta El Cairo - Argos _____	- 100 -
Tabla 27 Ruteo desde planta Rio Claro - Argos _____	- 101 -
Tabla 28 Ruteo desde planta Puerto Nare - Argos _____	- 102 -
Tabla 29 Ruteo desde planta Sogamoso - Argos _____	- 103 -
Tabla 30 Ruteo desde planta San Gil - Argos _____	- 104 -
Tabla 31 Ruteo desde planta Tolú - Argos _____	- 105 -
Tabla 32 Ruteo desde planta Cartagena - Argos _____	- 106 -
Tabla 33 Ruteo desde planta Sabanagrande - Argos _____	- 107 -
Tabla 34 Ruteo desde planta Caracolito - Cemex _____	- 108 -
Tabla 35 Ruteo desde planta Cúcuta - Cemex _____	- 109 -
Tabla 36 Ruteo desde planta Clemencia - Cemex _____	- 110 -
Tabla 37 Ruteo desde planta Bucaramanga - Cemex _____	- 111 -
Tabla 38 Ruteo desde planta La Calera - Cemex _____	- 112 -
Tabla 39 Ruteo desde planta Holcim _____	- 113 -
Tabla 40 Ruteo desde planta Cetesa _____	- 114 -
Tabla 41 Ruteo desde planta Cementos del Oriente _____	- 115 -
Tabla 42 Ruteo desde planta San Marcos _____	- 116 -
Tabla 43 Ruteo desde planta Ultracem _____	- 117 -
Tabla 44 Estructura de costos de transporte _____	- 118 -
Tabla 45 Matriz de flete Argos: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 119 -
Tabla 46 Matriz de fletes Argos: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 120 -
Tabla 47 Matriz de fletes Argos: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 121 -
Tabla 48 Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 122 -
Tabla 49 Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 122 -
Tabla 50 Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 123 -
Tabla 51 Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 123 -
Tabla 52 Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 124 -
Tabla 53 Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 124 -
Tabla 54 Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 124 -
Tabla 55 Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 125 -

Tabla 56 Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada C3S3 _____	- 125 -
Tabla 57 Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 125 -
Tabla 58 Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 126 -
Tabla 59 Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 126 -
Tabla 60 Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 126 -
Tabla 61 Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 127 -
Tabla 62 Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 127 -
Tabla 63 Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en camión sencillo _____	- 127 -
Tabla 64 Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en doble troque _____	- 128 -
Tabla 65 Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en C3S3 _____	- 128 -
Tabla 66 Cubicaje cemento en sacos _____	- 129 -
Tabla 67 Caso de estudio: distribución de la demanda en toneladas por ciclo de 3 días _____	- 146 -
Tabla 68 Caso de estudio: capacidad de producción en toneladas por ciclo de 3 días _____	- 147 -
Tabla 69 Caso de estudio: Capacidad de almacenamiento _____	- 147 -
Tabla 70 Caso de estudio: costo de producción tonelada de cemento a granel _____	- 148 -
Tabla 71 Caso de estudio: costo de producción tonelada de cemento en sacos _____	- 148 -
Tabla 72 Caso de estudio: matriz de fletes, valor de viaje 3S3 (tracto-camión) _____	- 149 -
Tabla 73 Caso de estudio: distribución de demanda proyectada 20% por tonelada por ciclo _____	- 150 -
Tabla 74 Caso de estudio: modelo _____	- 151 -
Tabla 75 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A en sacos _____	- 153 -
Tabla 76 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B en sacos _____	- 154 -
Tabla 77 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C en sacos _____	- 155 -
Tabla 78 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A granel _____	- 156 -
Tabla 79 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B granel _____	- 157 -
Tabla 80 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C granel _____	- 158 -
Tabla 81 Caso de estudio: plan de producción óptimo en toneladas _____	- 159 -
Tabla 82 Caso de estudio: utilidad anual por operación _____	- 159 -
Tabla 83 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A en sacos-proyección _____	- 160 -
Tabla 84 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B en sacos-proyección _____	- 161 -
Tabla 85 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C en sacos-proyección _____	- 162 -
Tabla 86 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A granel-proyección _____	- 163 -
Tabla 87 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B granel-proyección _____	- 164 -
Tabla 88 Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C granel-proyección _____	- 165 -
Tabla 89 Caso de estudio: plan de producción por tonelada por ciclo-proyección _____	- 166 -
Tabla 90 Caso de estudio: utilidad anual por operación-proyección _____	- 166 -
Tabla 91 Caso de estudio: porcentaje de utilización plantas _____	- 168 -
Tabla 92 Caso de estudio: porcentaje de utilización plantas-proyección _____	- 169 -

## GLOSARIO

Abrasivo: material de elevada dureza que desgasta, raspa, bruñe o pule por fricción otros materiales más blandos.

Cantera: explotación minera de la que se obtienen áridos, minerales, rocas de tipo industrial y ornamentales.

Conglomerante: material que al hidratarse se vuelve pastoso, se solidifica y adquiere rigidez, capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto.

Estiba: tarima o plataforma horizontal de altura variable fabricada de madera, metal, plástico o cartón corrugado que sirve como base de embalaje y facilita el movimiento y almacenaje de mercancía. Su base es rectangular y sus medidas pueden variar según las necesidades del mercado.

Factor de estiba: relación entre el peso y el volumen de una carga dados en toneladas métricas y en metros cúbicos respectivamente. Se define como el volumen que ocupa una tonelada métrica de carga.

FIFO: estas siglas corresponden al inglés "First In, First Out" cuya traducción es "primeros en entrar, primeros en salir". Es un método de contabilización de inventarios en el cual el primer lote de producto ingresado al almacén será el primer lote en salir del mismo.

Fluidificación: dar fluidez o licuar una sustancia. Los sólidos finos pueden ser fluidificados al mezclarlos con aire. Esta dilución tiene como objetivo que el lecho de polvos finos adquiera las características de los fluidos para facilitar su transporte u homogenización.

Fundente: sustancia que facilita la fundición de otra al mezclarse con ella.

Granulometría: clasificación o distribución de los tamaños de las partículas que conforman un suelo o agregado. El objetivo es determinar qué tamaños de partículas existen y en qué abundancia.

Lead time: tiempo que transcurre entre el momento en que se inicia una actividad o proceso y el momento en que este se completa.

Limítrofe: zona o terreno que colinda o limita con otra.

Mampostería: Unión manual de bloques de cualquier índole para construir muros en construcciones estructurales.

Mena: mineral extraído del suelo sin limpiar o procesar metalúrgicamente que contiene un cierto elemento químico (normalmente un metal) en cantidad suficiente para aprovecharlo.

Molturar: moler o triturar un material.

Pallet: unidad de carga consolidada sobre una estiba que agrupa empaques primarios o secundarios para facilitar su manipulación y transporte.

Piroproceso: proceso de transformación de las características mecánicas o químicas de minerales mediante calor. En fabricación de cemento incluye los procesos de precalentamiento, calcinación y sinterización o clinkerización.

Resistencia dinámica (estiba): es el peso máximo que resiste una estiba que será sometida a movimiento sin que se fracture o presente fallas de otro tipo.

Resistencia estática (estiba): es el peso máximo que resiste una estiba que se mantendrá inmóvil sin que se fracture o presente fallas de otro tipo.

Resistencia mecánica: capacidad de los materiales de resistir esfuerzos o fuerzas aplicadas sin romperse, deformarse o deteriorarse.

Roca sedimentaria: material formado por el depósito y precipitación de materiales sólidos suspendidos en el agua por acción de la gravedad.

Rubro: categoría en la que se reúnen objetos o actividades que comparten una característica dada. Puede ser entendido como título o rótulo.

Siderurgia: técnica de procesamiento metalúrgico para extraer hierro del mineral de hierro y transformarlo u obtener sus diferentes aleaciones. Incluye fundir, forjar, laminar y transformar el hierro en acero.

Talud: diferencia en el grosor de la parte inferior de una pared con respecto a la parte superior de la misma. Pendiente de un muro que permite que el mismo resista la presión que el material que está detrás de él ejerce. Pueden ser laderas naturales o cortes y terraplenes artificiales.

Transporte neumático: método de transporte de sólidos particulados en el que se utilizan flujos de gases a presión como medio de transporte en tuberías, sean estas horizontales o verticales.

## RESUMEN

Este proyecto caracteriza la logística del sector cemento en Colombia al identificar y describir los principales actores, procesos y materiales involucrados en la cadena de suministros del sector. Este documento compila la información logística relevante para la producción de cemento en Colombia. Esta información se obtuvo sintetizando estudios y reportes acerca de las prácticas logísticas y las condiciones en las que éstas se desarrollan. Adicionalmente se realizaron visitas empresariales en diferentes plantas de producción de cemento y entrevistas semiestructuradas a expertos en logística de los diferentes eslabones.

Con la información primaria y secundaria se caracteriza del producto, las materias primas e insumos necesarios para la producción de cemento. Se identifican los principales agentes que componen el sector y se describen los procesos logísticos relacionados con el cemento en cada uno de ellos. Para las cementeras y canteras se hace un análisis de entradas y salidas de los procesos principales de su cadena de valor. Adicionalmente se expone la operación de transporte como un elemento clave en el sector y se presentan las simulaciones de fletes, rutas y cubicaje. Por último, se incluye un caso de optimización de transporte aplicando teorías de investigación de operaciones.

### Palabras clave:

Cemento, Colombia, *clinker*, logística, cadena de suministro, procesos, producción, materias primas, proveedores, productores, transportistas, clientes.

## ABSTRACT

This project characterizes the logistics of the Colombian cement industry by identifying and describing the main characters, processes and material which are involved in the cement industry's supply chain. This document compiles the relevant logistic information for the cement production in Colombia. The information was obtained by synthesizing studies and reports about logistic practices and the conditions in which they are developed. Furthermore, field observations were performed and semi-structured interviews with cement logistics experts were conducted.

With primary and secondary information, the products and cement production's raw materials and inputs are characterized. The key industry players are identified and the cement logistic processes are described. In the case of cement companies and quarries, an input-output analysis for main value chain processes was executed. In addition, the transport operation is exposed as a key factor in the cement industry, and freights, routing and rightsizing simulations are presented. Finally, a transport optimization was included applying operations research theories.

### Key words:

Cement, Colombia, Clinker, Logistics, supply chain, processes, production, raw materials, suppliers, producers, carriers, customers.

## INTRODUCCIÓN

Para el año 2014, Colombia se encontraba en el puesto 97 de 160 países en el índice de desempeño logístico realizado por el Banco Mundial. Debido al bajo desempeño logístico del país, surge la preocupación por ser más competitivos y mejorar frente a estos indicadores internacionales (Banco Mundial, 2014). A partir de la publicación del CONPES 3547 sobre la política logística nacional, se identifica la logística como apoyo importante para la productividad y competitividad del país y se define la cadena de abastecimiento como la secuencia de actores y procesos involucrados en el flujo de bienes, servicios e información.

Con el propósito de realizar una evaluación logística nacional, se requieren estudios con enfoque de cadena de suministro para cada sector económico. Estos permitirían comprender las interacciones entre los agentes de la cadena y determinar las necesidades en materia de infraestructura del país, buscando optimizar los costos logísticos de transporte. (DNP, 2008)

El término sector económico “se refiere a una parte de la actividad económica cuyos elementos tienen características comunes, guardan una unidad y se diferencian de otras agrupaciones” (Banco de la Republica, 2013). Uno de los sectores de mayor importancia en la economía colombiana es el sector cemento, por su gran aporte al desarrollo de la infraestructura del país y al sector de la construcción. El adecuado desarrollo de la logística de este sector genera valor al cliente, ya que integra los procesos sistémicamente dentro de la cadena de valor de la organización, logrando una administración efectiva de los procesos y el flujo de bienes e información. (CSCMP, 2013)

Por lo anteriormente enunciado, se realiza la caracterización logística del Sector Cemento en Colombia, abordando la cadena de suministros del cemento desde una perspectiva holística. Lo anterior implica una visión integrada de todas las partes involucradas directa o indirectamente: proveedores, distribuidores, clientes, transportistas y operadores logísticos. Esta caracterización muestra un análisis detallado del desempeño logístico del sector, incluyendo la caracterización del producto, la descripción de los procesos logísticos de los eslabones y la identificación de los actores que componen la cadena.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En Colombia, los estudios con un enfoque logístico o en cadena de suministros han sido escasos en los diferentes sectores productivos y esto ha llevado a la ausencia de un referente con respecto al desempeño logístico de los mismos (Bernal, 2012). Uno de los sectores que enfrenta esta ausencia es el sector cemento. En la actualidad, los datos que se encuentran del mismo están en diferentes medios, como artículos de revistas especializadas, prensa escrita, estudios privados y publicaciones académicas. Sin embargo ninguno de éstos se presenta como un estudio que describa, caracterice y sintetice la situación logística actual del sector.

Entre los estudios nacionales acerca del sector cemento en Colombia con enfoque logístico, se encuentra un estudio realizado por Pro-expo (fondo de Promoción de exportaciones) en 1977, el cual pretendía impulsar la exportación del cemento, y de esta manera diversificar el catálogo de exportaciones del país y fomentar las mismas (ICPC, 1977). Sin embargo, debido a su antigüedad, éste carece de pertinencia para la realización de análisis que favorezcan a los agentes que componen e interactúan en el sector en la actualidad.

Por lo anteriormente enunciado, el problema que se identifica y se aborda, responde a la pregunta de investigación del proyecto “Perfil Logístico del sector Cemento en Colombia”: ¿Cuál es la Situación Actual del Sector Cemento en Colombia y los Retos que éste Enfrenta en Materia Logística?

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto Perfil Logístico del Sector Cemento en Colombia permite comprender el estado actual de la logística del sector, la descripción de sus principales procesos y flujos, la identificación de los actores que lo componen, los elementos que lo condicionan y las oportunidades potenciales de mejora. Por lo tanto constituye un referente, tanto para las empresas del sector, como para entidades privadas o públicas que tienen intereses o influencias sobre el mismo.

Los actores del sector pueden utilizar este proyecto como base para la toma de decisiones encaminadas a mejorar la administración de la cadena de suministros para la creación de ventajas competitivas en el área de operaciones. Estas ventajas fortalecerían la participación de las empresas en un mercado cada vez más competitivo y global a través de la consolidación de competencias básicas. A partir de estas competencias puede construirse conocimiento en áreas específicas de logística.

Adicionalmente, este proyecto se establece como una base de conocimiento que la academia puede utilizar con el fin de proponer investigaciones de mayor alcance y profundidad. Esta investigación se convierte en un marco de referencia para plantear metodologías de evaluación de desempeño logístico de sector, simulaciones de la dinámica de la operación logística, evaluaciones de impacto ambiental y estudios de productividad y competitividad del sector.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL

Describir el Perfil Logístico para el sector cemento en Colombia a partir de fuentes primarias y secundarias de información.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el cemento gris que circula en el mercado colombiano con el fin de conocer la naturaleza de dicho producto y sus materias primas.
- Identificar los actores presentes en los eslabones de la cadena de suministro del cemento gris.
- Describir los procesos logísticos relevantes de los eslabones de la cadena de suministro del sector cemento.
- Detallar los procesos de la logística de entrada, logística interna y logística de salida de la producción de cemento gris en Colombia.
- Formular un caso de estudio a partir de los datos obtenidos a lo largo de la investigación, aplicando teorías de la investigación de operaciones, con el fin de ejemplificar una problemática real del sector.

#### 4. ALCANCE Y VINCULACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se limita a la caracterización del producto y sus materias primas, la descripción de los principales agentes que componen el sector, la descripción de la operación logística de proveedores, productores, transportistas y clientes, y un caso de optimización de transporte aplicando teorías de investigación de operaciones.

El proyecto Perfil logístico del sector cementos en Colombia, a través de su enfoque en el área de logística, se vincula con el Grupo de Investigación de Perdurabilidad Empresarial (GIPE) de la Universidad del Rosario. Esta investigación aborda un tema específico del área de logística y está relacionado con la exploración de los ámbitos en los que las organizaciones del sector pueden encontrar oportunidades gerenciales de mejora que les proporcionen ventajas competitivas y garanticen su supervivencia.

Adicionalmente, este proyecto está enmarcado dentro del proyecto “Perfil logístico de Colombia: una visión hacia el mejoramiento estratégico de las operaciones nacionales e internacionales” que hace parte del programa áreas funcionales para la dirección que adelanta la línea de investigación de gerencia del GIPE. (Universidad del Rosario, 2013)

## 5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

### 5.1. DEFINICIÓN

El cemento es un polvo fino que se obtiene al someter una mezcla de piedra caliza, arcilla y otras sustancias a temperaturas muy altas. Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice, alúmina y óxido de hierro y forma, con adición de una cantidad adecuada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. El cemento presenta propiedades de adherencia y cohesión a través de la formación de compuestos muy resistentes. (ICONTEC, 1982) (ARGOS, 2014). De acuerdo con el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones:

“El cemento es un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua”. (IECA, 2014)

Entre las propiedades del cemento, resalta la propiedad hidráulica, la cual es una aptitud de un material pulverizado de fraguar y endurecer en presencia de agua y de esta manera formar compuestos estables y resistentes. (ICONTEC, 1982) El fraguado es un proceso de pérdida gradual de plasticidad o viscosidad que da lugar a tres periodos una vez el cemento haya tenido contacto con el agua. El primer periodo es un periodo latente sin grandes cambios de plasticidad debido a la acción retardante del yeso. (Giraldo, 2003)

En el segundo período de fraguado se pierde la elasticidad inicial y se genera una masa semirrígida debido a que comienza la liberación de calor bajo un proceso de aumento de temperatura gradual llamado calor de hidratación. Finalmente, ocurre el periodo de endurecimiento que dura varios años, aumentando el nivel de resistencia mecánica. (Giraldo, 2003)

## 5.2. MATERIAS PRIMAS

Para la producción de cemento se requieren tres elementos: *clinker*, yeso y agregados. Los ingredientes básicos para la producción de *clinker* son dos: En primer lugar, los materiales calizos, entre los que se encuentran la piedra caliza y la arcilla calcárea. Estos componentes aportan el  $\text{CaCO}_3$  en la reacción química y representan entre el 80 y 85% de la mezcla. El segundo componente es la arcilla que proporciona sílice y alúmina en forma de óxido,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  respectivamente (Giraldo, 2003). Estos materiales representan entre el 15 y el 20% de la mezcla. Adicionalmente, existe un tercer elemento que aporta la arcilla, el óxido de hierro, que aunque no es fundamental para la fabricación de *clinker* es importante para la economía del proceso puesto que actúa como un fundente que permite bajar la temperatura de cocción. Para la producción de 1 Ton de *clinker* se requiere 1,6 Ton de materia prima. (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

El Yeso es un elemento que aporta un sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y se encuentra en muchos depósitos naturales (Giraldo, 2003). Este material representa el 5% de la mezcla final en promedio. En cuanto a los agregados, existen materiales no cementantes y materiales cementantes como las escorias de alto horno de las acerías, las cenizas volantes, las puzolanas y la caliza de alta calidad. Dependiendo de la cantidad de agregados que se adicionen a la mezcla, a partir de 1 Ton de *clinker* se obtiene entre 1,3 y 1,5 Ton de cemento. (Florez, 2015) (Quintero, 2015) (Diago, 2015)

## 5.3. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO

En términos técnicos, el cemento es hidráulico debido a que es un material inorgánico finamente pulverizado que al agregarle agua tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua. Esto se debe a las reacciones químicas que suceden durante la hidratación (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2009). Hasta el año 2014, la norma técnica colombiana clasificaba a los cementos producidos en el país como cemento Portland. Sin embargo, con la

actualización de la norma NTC 121, se adopta el nombre de cemento hidráulico puesto que los cementos producidos en el país cuentan con agregados y el cemento Portland es producido únicamente a partir de la molienda de *clinker* y admite solo un 5% de adiciones de sulfato de calcio. (Quintero, 2015)

De acuerdo a dicha norma, el cemento se clasifica en seis tipos a los cuales puede agregársele dos opciones como se muestra en la Tabla 1. Cada uno de los tipos se obtiene de la mezcla proporcional de los ingredientes mencionados anteriormente. El cemento Tipo UG (Uso General), es un cemento que no posee propiedades especiales, ya que está destinado a obras de hormigón en general. El cemento Tipo ART (Alta Resistencia Temprana) es el que posee altas resistencias iniciales y cuenta con una gran aplicación práctica junto con el Tipo UG. (ICONTEC, 2014) (Giraldo, 2003)

Tabla 1  
Clasificación del cemento hidráulico según NTC 121

Clasificación nueva	Descripción	Clasificación antigua
Tipo UG	Ordinario. Se utiliza en la construcción en general	Tipo I
Tipo ART	Alta resistencia temprana	Tipo III
Tipo MRS	Moderada resistencia a los sulfatos	Tipo II
Tipo ARS	Alta resistencia a sulfatos	Tipo V
Tipo MCH	Moderado Calor de Hidratación	NA
Tipo BCH	Bajo calor de hidratación.	Tipo IV
Tipo principal (A)	Usan un incorporador de aire	Tipo I-A
		Tipo II-A
		Tipo III-A
Tipo principal (BRA)	Baja Reactividad Alkali-Sílice	NA

Fuente: ICONTEC. (2014). NTC 121: Especificación de desempeño para cemento hidráulico. ICONTEC.

El cemento Tipo MRS (Moderada Resistencia a los Sulfatos), también está destinado a obras de hormigón, pero estas se encuentran expuestas a sulfatos y calor de hidratación como en construcciones subterráneas o regiones costeras. El cemento Tipo ARS (Alta Resistencia a los Sulfatos) se aplica en ambientes subterráneos y costeros con alta acción de sulfatos. Finalmente, los cementos Tipo MCH (Moderado Calor de Hidratación) y BCH (Bajo Calor de Hidratación)

son utilizados en la construcción de represas por su lenta reacción química, al igual que en muros de gravedad. (ICONTEC, 2014) (Giraldo, 2003)

Las opciones adicionales, que aplican para cualquiera de los tipos principales, son la Opción BRA (Baja Reactividad con Agregados Reactivos Álcali-Sílice) que se usan en ambientes con altas concentraciones de Álcali-Sílice y la Opción A (Cementos con incorporadores de aire) utilizada en regiones sometidas a congelamiento y deshielo. La designación de la presencia de alguna de estas opciones se hace inmediatamente después de la letra y título del tipo principal. (ICONTEC, 2014) (Giraldo, 2003)

#### 5.4. REQUISITOS DE ACEPTACIÓN DE CALIDAD

Para que el cemento sea aceptado bajo las condiciones de calidad, se requiere que cumpla con todos los requisitos físicos obligatorios de la norma NTC 121 de 2014. Estos requisitos pueden ser inspeccionados por el comprador, tomando muestras, bajo un acuerdo con el fabricante, sin que se interfiera en el proceso de fabricación y despacho. El comprador puede rechazar el producto en tres casos: en primer lugar, que no cumpla con los requisitos aplicables de la NTC. En segundo lugar, que la cantidad de producto en el empaque no corresponda a las especificaciones de la NTC 3684. (ICONTEC, 2014)

Por último, si el producto es almacenado a granel por más de seis meses o empacado por más de tres meses en las bodegas del vendedor, podrá ser ensayado nuevamente antes del despacho y rechazado si no cumple con las especificaciones de la norma. Debido a las características del cemento, éste deberá almacenarse de forma que permita la inspección e identificación del pedido antes de que sea empacado en sacos. Así mismo el lugar de almacenamiento debe estar protegido de la intemperie para evitar el endurecimiento por humedad. (ICONTEC, 2014)

## 5.5. EMPAQUE

El cemento es empacado en sacos que son elaborados en papel *Kraft* extensible o semi-extensible. Este es especial para productos que requieran llenado a gran velocidad y altas temperaturas, ofreciendo una elevada absorción de energía de tracción. El peso del papel se encuentra entre 82 g/m<sup>2</sup> y 95 g/m<sup>2</sup> y posee buen desempeño para la impresión. (Smurfitkappa, 2014) (Copa Mex, 2013)

Debido a que el llenado de cemento es automático, los sacos cuentan con una válvula auto-sellable y base pegada con adhesivo. Tienen capacidad de hasta 50 Kg y están diseñados con tecnología anti desgarre y rotura que disminuye el riesgo de daños durante el transporte y la manipulación. Adicionalmente, cuentan con micro-perforaciones que permiten eliminar el aire que se acumula en el saco durante el proceso de llenado. (Smurfit Kappa, 2014) (Calderón, 2015) (Diago, 2015)

De acuerdo con la norma técnica NTC 121, en el rótulo del empaque debe indicarse el tipo de cemento hidráulico, el nombre y la marca del fabricante y la masa de cemento contenida en los bultos y una lista de materiales ordenada decrecientemente según la abundancia de los mismos. Esta información también deberá suministrarse en el aviso de expedición que acompañe al pedido de cemento y todos los bultos deberán encontrarse en buenas condiciones en el momento de la inspección. (ICONTEC, 2014)

## 5.6. PRODUCTOS DE CEMENTO GRIS EN EL MERCADO COLOMBIANO.

Cemento gris de uso general: también llamado Tipo 1. Entre los usos de este tipo de cemento se encuentra la producción de productos prefabricados, morteros y concretos para obras en general, al igual que cimentaciones, muros, contenciones, estructuras y rellenos. Este tipo de cemento es útil para remodelaciones y aplicaciones domésticas. Entre sus beneficios, desarrolla resistencias requeridas tanto en edades tempranas como finales y ofrece tiempos de fraguado controlados con calores de hidratación moderados. Este tipo de cemento posee alta retención de

agua que garantiza una excelente manejabilidad. Este producto se ofrece en presentaciones de granel entre 30 y 35 Ton, en big bags, en sacos de 50 Kg, 42.5 Kg, 25 Kg y tamaño personal de 1 Kg, como se ve en la Tabla 2. (Argos, 2015) (Cemex Colombia, 2015) (Holcim Colombia, 2015)

Tabla 2  
Cemento gris de uso general

Saco 50 Kg Argos	Saco 1 Kg Argos	Saco 50 Kg Cemex
		
Saco 50 Kg Holcim	Big bag Holcim	Saco 50 Kg San Marcos
		
Saco 50 Kg Ultracem	Saco 50 Kg Cetesa	Saco 50 Kg Del Oriente
		

Fuente: Ferrelectricos Mora. (2013). Cmentos Argos / Cemex Colombia. (2015). Distribuidores / Holcim Colombia. (2015). Cemento / Ultracem. (2015). Productos / Cementos Tequendama. (2012). Nosotros Misión y Visión / Cementos San Marcos. (2015). Productos / Cementos del Oriente. (2012). Productos

Cemento gris de uso estructural: es un cemento especial para la producción de concretos estructurales, como columnas, cimientos y muros en edificaciones y obras de infraestructura. También se utiliza para pavimentos, pisos industriales y prefabricados de altas resistencias. Entre sus beneficios ofrece alta resistencia, por lo que su rendimiento es mayor. Así mismo, mayor rapidez en la construcción ya que posee tiempos de fraguado más cortos con altas resistencias

iniciales. Este producto se ofrece a granel, en big bags y en sacos de 42,5 Kg y 50 Kg, como se ve en la Tabla 3. (Argos, 2015) (Cemex Colombia, 2015) (Holcim Colombia, 2015)

Tabla 3  
Cemento gris de uso estructural

Saco 42.5 Kg Argos	Saco 50 Kg Cemex	Saco 50 Kg Ultracem
		

Fuente: Ferrelectricos Mora. (2013). Cemtos Argos / Cemex Colombia. (2015). Distribuidores / Ultracem. (2015). Productos

Cemento gris de uso petrolero: también llamado Clase G. Es un cemento que cumple los requerimientos de la norma API SPEC 10 A y puede ser utilizado en condiciones extremas de aplicación como altas temperaturas y presiones, manteniendo las propiedades mecánicas y el desempeño. Entre sus beneficios, evita el movimiento de fluidos hacia la tubería, protegiéndola de la corrosión, ofrece un moderado calor de hidratación que lo protege de fisuras y una alta resistencia a sulfatos y otros ataques químicos del suelo. Este producto se ofrece en sacos de 42.5 Kg en papel Kraft de tres capas (capa intermedia con liner plástico) y a granel, en pipas que oscilan entre 30 y 35 Ton. (Argos, 2015) (Holcim Colombia, 2015)

Cemento de uso marino: también llamado Tipo V. Es un cemento especial para concretos y morteros expuestos a sulfatos presentes en aguas costeras, negras e industriales, presentes en puertos y plantas de tratamiento. Es adecuado para obras de infraestructura que requieren bajo calor de hidratación, lo que permite reducir agrietamientos. Este cemento se ofrece en contenedores a granel de entre 30 y 35 Ton, en big bags y en sacos de 50 Kg como se muestra en la Tabla 4. (Cemex Colombia, 2015) (Holcim Colombia, 2015)

Tabla 4  
Cemento gris de uso marino

Saco 50 Kg	Saco 50 Kg Ultracem
	

Fuente: Cemex Colombia. (2015). Distribuidores / Ultracem. (2015). Productos

Cemento súper resistente: es un cemento para uso en concretos y morteros, presenta altas resistencias iniciales y finales con alta durabilidad en ambientes de polución. Es un producto amigable con el medio ambiente por su baja huella de carbono. Este cemento se ofrece en big bags, a granel y en sacos de 50 Kg, como se muestra en la tabla 5. (Cemex Colombia, 2015)

Tabla 5  
Cemento gris de otros usos

Súper resistente 50 Kg Cemex	Mampostería 50 Kg Ultracem
	

Fuente: Cemex Colombia. (2015). Distribuidores / Ultracem. (2015). Productos

Cemento gris de uso mampostería: producto de excelente rendimiento y durabilidad. Este se caracteriza por un mayor grado de adherencia, plasticidad y manejabilidad. Este cemento se utiliza para morteros de mampostería y acabados de fachada y pañete. Es un cemento fácil de aplicar sobre superficies, brindando menor desperdicio en su aplicación. Este cemento se ofrece en presentación de 50 Kg, como se muestra en la Tabla 5. (Ultracem, 2015)

## 6. PROVEEDORES

### 6.1. CALIZA

La caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato calcio y de carbonato de magnesio. Aunque comúnmente se denomina caliza a cualquier material calcáreo, la piedra caliza es solamente aquella que está constituida por lo menos en un 50% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Los minerales más abundantes de la caliza son la calcita, la aragonita, y la dolomita en el caso de las calizas dolomíticas. La coloración de esta piedra varía según las impurezas que contenga: las calizas con alto grado de pureza y las dolomíticas son blancas, las que contienen impurezas carbonosas varían entre el gris y el negro y las que presentan óxido férrico pueden ser amarillas, rojas o pardas. No obstante, las calizas más utilizadas en el sector de la construcción son las blancas y ligeramente grises. (EcuRed) (Museo Geológico Virtual de Venezuela, 1997)

La piedra caliza se utiliza en fertilizantes, encalado de suelos, piensos, alimento seco para animales, curtientes, fabricación de azúcar, ablandamiento de aguas, tratamiento de agua de calderas y construcción. En este último es especialmente importante pues es la principal materia prima en la fabricación del cemento, debido a su alta concentración de carbonato de calcio. (Guerrero Hernández, 2011)

En Colombia, las empresas de cemento (Argos, Cemex, Holcim, Cetesa, San Marcos, Ultracem y Cementos del Oriente) cuentan con sus propias canteras para la extracción de caliza, es decir que ellas mismas proveen este material para su proceso productivo. Esto se debe principalmente a que la caliza es el material más importante para la fabricación de cemento y comprarla para transportarla desde lugares alejados incrementa considerablemente el costo. Es por lo anterior que las empresas cementeras basan la decisión de ubicación de sus plantas en la información que se tiene acerca de los yacimientos de caliza identificados en los distritos mineros como se ve en la Tabla 7. (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

Tabla 6  
Distritos mineros con encadenamiento productivo de caliza

Distrito	Departamento	Municipios	Cementeras que explotan en el distrito
Puerto Nare	Antioquia	Abejorral, La unión, Carmen de Viboral y Rionegro.	Argos
Calamarí – Atlántico	Atlántico	Luruaco, Repelón, Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta y Piojó.	Argos y Ultracem
Calamarí – Bolívar	Bolívar	Arjona, Arrollo Hondo, Cartagena, Turbaná, Turbaco, Mahates y San Juan de Nepomuseno.	Argos
Sugamuxi	Boyacá	Belén, Corrales, Duitama, Firavitoba, Gámeza, Izá, Mongua, Monguí, Nobsa, Paipa, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Sogamoso, Tibasosa, Topagá, Tota y Aquitania.	Argos, Holcim, Cementos del Oriente
Teruel Aipe	Huila	Aipe, Nátaga, Neiva, Paicol, Palermo, Santa María, Teruel, Tesalia, Íquira.	NA
Cúcuta – Pamplona	Norte de Santander	Bucarásica, Cúcuta, El Zulia, Los Patios, Salazar, San Cayetano, Sardinata, Tibú, Villa del Rosario, Bochalema, Cáchira, Chinácota, Chitagá, Cucutilla, Durania, Mutiscua, Pamplona, Silos y Toledo.	Cemex
Putumayo	Putumayo	Colón, Mocoa, Orito, Puerto Guzmán, Santiago, San Francisco, Sibundoy, Villa Garzón, Puerto Asís, Puerto Legízamo, Puerto Caicedo.	NA
Calamarí – Sucre	Sucre	Tolú, Tolú Viejo y Sincelejo.	Argos
Ataco – Payandé	Tolima	Ataco, Chaparral, Coello, Ortega, Coyaima, El Carmen de Apicalá, Espinal, Flandes, Guamo, Ibagué (Payandé), Melgar, Rovira, Saldaña, San Luis y Valle de San Juan.	Cemex
Cali El Dovio	Valle	Cali, Bolívar, Buenaventura, Buga, Bugalagrande, Caicedonia, Candelaria, El Dovio, Ginebra, Guacarí, Jamundí, Sevilla, Vijes, Yumbo, Tuluá, Cartago, La Victoria y Ansermanuevo.	Argos y San Marcos

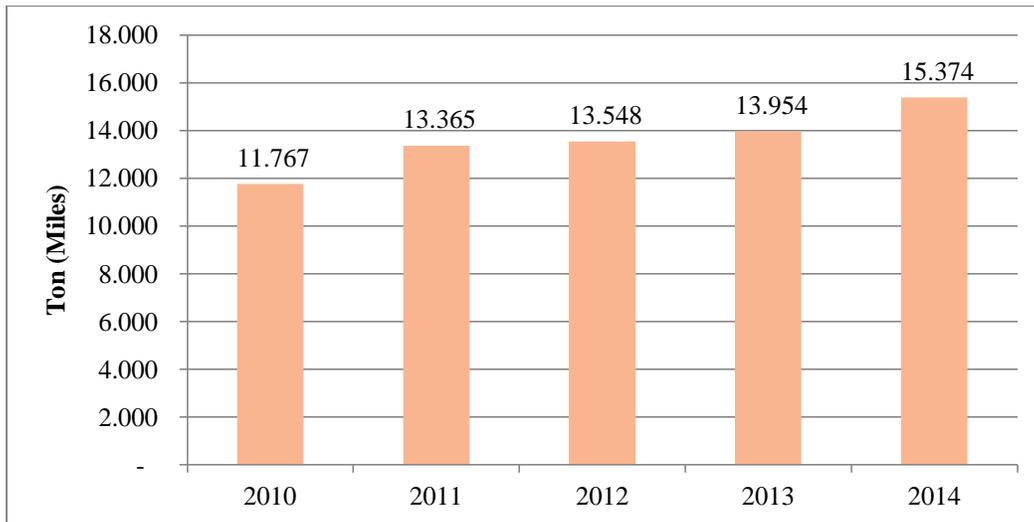
Fuente: Castillo, A., García, J., Ardila, R., Chamat, V., & Forero, J. (2009). Anuario estadístico minero colombiano. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

La anterior tendencia se ajusta a la teoría de localización en la que se determinan puntos geográficos estratégicos que minimizan los costos basándose en la ubicación de las materias primas y el lugar de la demanda del producto. Esto con el fin de elegir la localización óptima que

permita reducir tanto los costos de producción, como los asociados al transporte (Kurmaran & Martínez, 2008) (Bustos, 1993) (Moreno, 2013)

Como se observa en el Gráfico 1, para el año 2014 la cantidad de caliza que se empeló en la industria del cemento fue de 15'373.683 Ton. Aunque la explotación de caliza para cemento tuvo un crecimiento promedio de tan solo 2% para los años 2012 y 2013, el crecimiento para el año 2014 fue del 10%. Si compara la explotación de 2014 con la de 2010 (11'766.895 Ton) se puede identificar un crecimiento de aproximadamente 31%. (Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO, 2014) (Ministerio de Minas y Energía, 2015)

Gráfico 1  
Producción anual de caliza cementera



Fuente: Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO. (2014). Serie de tiempo histórica de producción de caliza. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Ministerio de Minas y Energía: Colombia Minera: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=110&grupo=346&FechaInicio=01/01/1940&FechaFinal=31/12/2014](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=110&grupo=346&FechaInicio=01/01/1940&FechaFinal=31/12/2014)  
Ministerio de Minas y Energía. (2 de Febrero de 2015). Análisis de la producción de Cemento, Clinker y Caliza Cementera, para el año 2014, segundo semestre, cuarto trimestre y mes de diciembre. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

### 6.1.1. PROCESO DE EXPLOTACIÓN DE CALIZA

La producción de caliza para cemento consta de tres procesos fundamentales: la exploración, la explotación y la trituración como se muestra en la Ilustración 1. El proceso de exploración

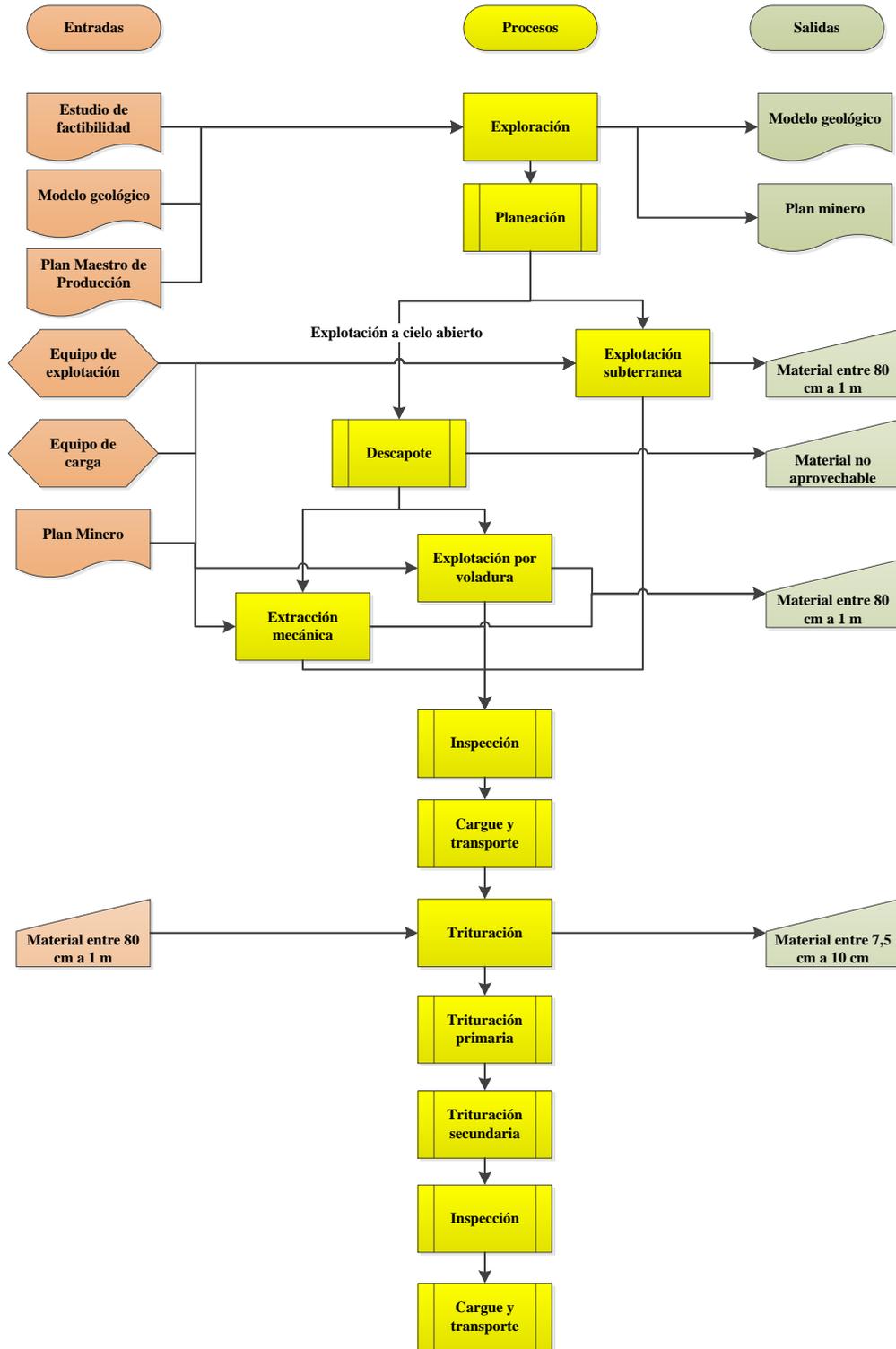
tiene como objetivo obtener un modelo geológico de bloques o de superficie que brinde información cualitativa y cuantitativa de los materiales presentes en el yacimiento para minimizar la incertidumbre y los riesgos; además de apoyar la evaluación, planeación y valorización económica del yacimiento. (Quintero, 2015) (Leiva, 2013)

Esta exploración se lleva a cabo a través de estudios geológicos en los que se realizan perforaciones para encontrar los límites del yacimiento (*pit limits*), así como una caracterización de las capas de materiales que se tienen en él. Estas perforaciones suelen alcanzar varios cientos de metros y son claves, ya que un estudio deficiente puede tener efectos negativos en varios de los procesos de fabricación del cemento y permiten determinar la ubicación de las diferentes calidades de caliza: alta, media y baja. (Calderón, 2015) (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

A partir de la modelación del yacimiento y, en la mayor parte de los casos, el plan maestro de producción de la planta cementera, se crea un plan minero en el que se detallan estimaciones de taludes o terrazas, drenajes y vías de acceso. Así mismo se determinan: la forma, los lugares, los tiempos, las cantidades de explotación de material y, de ser necesario, el retiro de la capa vegetal que cubre el yacimiento, también llamado proceso de descapote. Para iniciar la operación de la cantera, es necesario contar con permisos y licencias ambientales que incluyen generalmente aprovechamiento forestal y captación de aguas. (Quintero, 2015) (Florez, 2015)

En cuanto a las formas de explotación del suelo, las empresas pueden optar por extracción subterránea o explotación a cielo abierto (*open pit*). La extracción subterránea se lleva a cabo cuando el yacimiento se encuentra demasiado alejado de la superficie, por ejemplo en El Cairo, Antioquia. En estos casos, el estudio de factibilidad indica que económicamente no es conveniente realizar una explotación a cielo abierto, debido a que se incurriría en mayores costos de remoción de suelo no aprovechable. Los principales métodos de extracción subterránea son: cámaras y pilares, tunelado y grandes pilares; mientras que las tecnologías de extracción utilizadas incluyen: cortadoras de cadena, hilo diamantado y waterjet. (Florez, 2015) (Daniel & Careddu)

Ilustración 1  
 Diagrama de entradas y salidas producción de caliza para cemento



Fuente: Elaboración propia

La extracción subterránea presenta los siguientes beneficios: en primer lugar, menores problemas con las condiciones de la superficie, la zonificación, y el medio ambiente. En segundo lugar, no es necesario realizar recuperación de la zona al finalizar la explotación. En tercer lugar, es posible extraer material ubicado debajo del suelo de la cantera, de los taludes o de propiedades limítrofes. Por último, las condiciones climáticas de explotación son constantes. No obstante, los trabajos de apertura en este tipo de extracción son más costosos y se genera mayor inestabilidad debido a las cámaras que se crean dentro del yacimiento. Esto último conlleva a mayores riesgos de seguridad laboral. (Daniel & Careddu)

La segunda forma de explotación del suelo es a cielo abierto. Esta requiere que se lleve a cabo un proceso de descapote previo a la extracción de material calizo. Los costos asociados con esta actividad deben minimizarse tanto como sea posible, ya que la capa vegetal no es un material que se utilice en el proceso productivo de las cementeras. Para controlar estos costos existe un indicador llamado factor de descapote, que indica el número de toneladas de capa vegetal que deben ser removidas para obtener una tonelada de caliza. Cuando una cantera presenta un elevado factor de descapote, implica que debe destinar una mayor cantidad de recursos (infraestructura, personal, equipo y tiempo) al movimiento de materiales no aprovechables lo que conlleva a que el proyecto sea inconveniente. (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

Después de llevar a cabo el descapote, se procede a realizar la extracción de la caliza. Esta se puede realizar a través de dos métodos: explotación mecánica y explotación por voladura. La explotación mecánica, también conocida como método *sweeper*, se realiza únicamente cuando las calizas son muy blandas debido a la cantidad de humedad que contienen o a su corta edad. Este proceso se realiza haciendo uso de retro excavadoras que fracturan el suelo del yacimiento extrayendo el material y lo cargan en volquetas, dumpers, trucks o mini trucks con capacidades de hasta 50 Ton. (Florez, 2015) (Quintero, 2015) (Silva, 2015)

La explotación por voladura se utiliza en calizas de alta dureza las cuales son las más comunes en Colombia. En este proceso se realizan perforaciones, generalmente de entre 6 y 10 m, y se introducen en ellas los explosivos; uno de los explosivos utilizados en este proceso es el nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Estas voladuras se ejecutan de acuerdo a una malla de explotación

con micro retardos para procurar que los tamaños de las piedras resultantes sean menores a 1 m o 80 cm de diámetro dependiendo de la trituradora que utilice la empresa. Con el fin medir las ondas generadas por las explosiones y sus impactos en las comunidades aledañas, se utilizan sismógrafos. Estas ondas no deben sobrepasar las velocidades de 5cm/s. (Quintero, 2015) (Holcim, 2010)

Una vez efectuada la voladura, las retro-excavadoras o las palas recogen las piedras para cargarlas en los vehículos mencionados en el método de extracción mecánica. En caso de ser necesaria una disminución de tamaño, las retro-excavadoras están equipadas con martillos hidráulicos para realizar esta actividad. (Holcim, 2010) (Florez, 2015)

Independientemente del tipo de explotación que se realice, es indispensable llevar a cabo muestreos y análisis de laboratorio a los materiales extraídos que permita determinar los componentes químicos del mismo. Posteriormente, el material es llevado a la trituradora o almacenado en un patio pulmón que hace las veces de reserva de material en mina. (Calderón, 2015) (Quintero, 2015)

El lugar de explotación, como se mencionó anteriormente, es determinado en el plan minero. Esto se debe a que no todo el material de la cantera presenta la misma calidad, es decir, no toda la caliza contiene la misma concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Generalmente, a mayor profundidad la cantidad de impurezas que contiene la piedra es menor, esto la hace caliza de alta calidad pues su contenido de carbonato de calcio está por encima del 82%. Las calizas de mediana y baja calidad se encuentran más cercanas a la superficie y son más ricas en sílice, hierro y óxido de aluminio. (Quintero, 2015) (Hoss, 2005)

Los tiempos y cantidades de explotación de materia prima se definen de dos formas: la primera es a partir de la demanda de la planta cementera. En este caso, según el plan maestro de producción, se indica a la cantera cuanto material se necesitará en cada periodo de tiempo definido. Con base en esta información se establece el plan minero anual y desde allí se determinan las cantidades de explotación y los tiempos para proveer el material oportunamente. Esto sucede debido a que el nivel de demanda del material es muy alto, lo que exige que la cantera tenga una producción constante. (Calderón, 2015) (Silva, 2015)

La segunda es a partir de la formulación de metas propias de explotación para la determinación del plan minero. La cantera garantiza el suministro de materiales a la cementera pero sus actividades no se limitan a este cumplimiento ya que la capacidad productiva de la cantera supera significativamente la demanda de materiales que requiere la cementera. (Quintero, 2015)

Por último, se efectúa el proceso de trituración que comienza con el descargue del material en la máquina trituradora. Algunos ejemplos de sistemas de trituración son LARON y ABON. La trituración se realiza en dos fases: primaria y secundaria. En las trituradoras modernas se llevan a cabo las dos fases en una misma máquina, mientras que anteriormente se requerían dos máquinas y un equipo de transporte para ejecutar el proceso. Al ingresar a la fase primaria, el material tiene un tamaño máximo de 1 m o 80 cm, dependiendo de la trituradora y al salir de esta fase queda reducida a 15 o 20 cm.

Posteriormente, al finalizar la segunda fase, el material tiene un diámetro de entre 3' y 4', es decir de 7,5 a 10 cm. Algunas empresas hacen uso de la trituradora solamente cuando el viento no es suficiente para hacer arrastre de material particulado y las máquinas cuentan con nebulizadores de agua para precipitar las partículas. Una vez triturado, el material es muestreado e inspeccionado y cae en una banda transportadora que lo lleva a la cementera o, en su defecto, en un montículo para ser cargado en volquetas y despachado a la planta. (Silva, 2015) (Quintero, 2015) (Florez, 2015)

## 6.2. MATERIAS PRIMAS PARA ADICIÓN

Existen tres tipos de materias primas para adición: correctivos, yeso y agregados. El primer tipo son los correctivos, los cuales son necesarios para lograr una adecuada composición química en las materias primas y obtener un cemento de buena calidad, debido a que la composición natural de la caliza no siempre garantiza los niveles adecuados de hierro, alúmina y sílice. Los correctivos son: óxido de aluminio, óxido de silicio y óxido de hierro (Quintero, 2015). El óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) es un compuesto obtenido a partir de la reacción química entre el aluminio y

el oxígeno. Es un material cerámico con textura granular, de color blanquecino y elevada dureza y rigidez. (Gómez & Correa, 2014) (Formulación Química, 2014)

El óxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es un compuesto formado por la interacción del silicio y el oxígeno. Es un material sólido de alta dureza, estructura cristalina y apariencia transparente (EcuRed, 2015) (Formilación Química, 2014). El óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) es un compuesto formado por la reacción del hierro y el oxígeno. Este óxido puede obtenerse de forma sintética, pero también se encuentra en la naturaleza en formaciones sedimentarias que se extraen de minas o se explotan a cielo abierto. En la fabricación de cemento se utiliza como fundente e influye en la coloración final del cemento. (Instituto Geológico y Minero de España, 2004) (Higueras Higuera & Oyarzun Muñoz, 2015)

En Colombia, las cementeras utilizan materiales arcillosos que contienen los correctivos anteriormente mencionados para lograr los niveles químicos adecuados en la mezcla de materias primas. Entre los materiales arcillosos utilizados se encuentran el caolín que permite corregir la sílice y la bauxita que permite corregir el hierro y el aluminio. El caolín es una arcilla en la que predomina la caolinita ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ), un mineral no renovable producto de la descomposición de rocas feldespáticas. En Colombia, existen 17 UPM de caolín y los principales yacimientos se encuentran en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda y Santander. (Torres, 2010) (Ministerio de Minas y Energía, 2012) (Olvera Venegas & Hernández Cruz, 2014)

La bauxita es una roca sedimentaria proveniente de las menas de aluminio que contiene hidróxidos de aluminio y otros compuestos químicos como óxidos de hierro que pueden ser extraídos a partir de procesos metalúrgicos. En el territorio nacional hay 7 unidades productivas mineras (UPM) de bauxita y los principales yacimientos son la Sierra de la Macarena - Meta, los Llanos de Cuivá - Antioquia, Abrego - Norte de Santander, Valle del Alto Cauca - Cauca y Valle del Cauca y Riohacha - Guajira. (Ministerio de Minas y Energía, 2012) (Gómez & Correa, 2014) (Quintero, 2015)

El segundo tipo de materia prima para adición es el yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Este es un conglomerante aéreo compuesto por sulfato de calcio y agua, inestable en presencia de humedad, adherente y de rápido fraguado. Puede obtenerse sintéticamente y en la naturaleza se crea por

procesos de sedimentación, hidratación de la anhidrita entre otros. Un buen yeso aglomerante debe presentar mínimo 90% de sulfato de calcio y para la fabricación de materiales de construcción no debe contener cantidades importantes de cloruros, magnesio, u otras sales solubles. (ECO.Ingeniería S.A.S., 2005) (Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2008)

Las cementeras compran yeso tanto a nivel nacional como internacional. Las canteras y minas de yeso nacionales se encuentran en los distritos mineros que se muestran en la Tabla 8, mientras que el yeso comprado en el exterior se importa en buques graneleros con capacidades de hasta 50.000 Ton que descargan principalmente en los puertos de Mamonal y Buenaventura. (El País Buenaventura, 2013) (Figuroa Alcázar, 2013)

La fabricación del yeso se resume en 4 procesos. El primero es la extracción, en la que se obtiene piedras de sulfato de calcio dihidratado de las minas y canteras con un tamaño hasta 50 cm de diámetro. El segundo es la selección de material donde se seleccionan las piedras con alto contenido de sulfato de calcio y se almacenan. El tercero es la calcinación, en la que se deshidrata parcialmente el material a través de calcinación a altas temperaturas y presiones. El último proceso es la trituración, en la que se reduce la piedra calcinada a un diámetro de 4 a 5 cm. (Yesos Especializados de Mexico, 2009)

Tabla 7  
Distritos mineros con encadenamiento productivo de yeso

Distrito	Departamento	Municipios
Los Santos	Santander	Curití, Los Santos, Villa Nueva y Zapatota
Frontino	Antioquia	Abriaquí, Anorí, Caceres, Caucaia, El Bagre, Nechi, Maceo, Remedios, San Roque, Segovia, Tarazá y Zaragoza
Ataco – Payandé	Tolima	Ataco, Chaparral, Coello, Coyaima, El Carmen de Apicalá, Espinal, Flandes, Guamo, Ibagué (Payandé), Melgar, Rovira, Saldaña, San Luis y Valle de San Juan.

Fuente: Unidad de Planeación Minero energética UPME. (Noviembre de 2005). Distritos mineros, exportaciones e infraestructura de transporte. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de UPME: [http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos\\_Mineros.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos_Mineros.pdf)

El último tipo de materia prima para adición son los agregados, los cuales son materiales que se adicionan en el proceso de molienda del *clinker* para lograr una disminución del costo económico, ya que el *clinker* es el material con mayor costo asociado y, cuanto mayor es su proporción en cada Ton de cemento, mayor es el costo final del producto. De igual manera, se reducen los costos ambientales por tres razones: en primer lugar, el sector utiliza residuos de otras industrias que, de lo contrario, serían vertidos como desechos. En segundo lugar, se reducen las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ya que la fabricación de 1 Ton de *clinker* produce 1 Ton de CO<sub>2</sub>. Por último, se reduce la cantidad de energía eléctrica y térmica que demanda la producción de una Ton de cemento.

Como se mencionó anteriormente, estos materiales pueden ser no cementantes y cementantes. En los primeros encontramos la caliza de baja calidad que se obtiene de la cantera, los escombros de ladrillo de escombreras y ladrilleras, entre otros; estos materiales aportan manejabilidad y estabilidad de volumen al cemento. Por otro lado, entre los materiales cementantes encontramos: escorias de alto horno, puzolanas volcánicas, ceniza volante, humo de sílice, arcillas calcinadas y caliza de alta calidad. Estas materias aportan características especiales al cemento como resistencias tempranas y tardías, trabajabilidad y durabilidad. (Quintero, 2015) (Calderón, 2015) (Florez, 2015)

Las escorias de alto horno es un subproducto no metálico de la industria siderúrgica. Esta escoria líquida se enfría y endurece con rapidez formando nódulos que pueden molerse hasta alcanzar finuras similares a las del cemento. Estas escorias pueden representar entre el 20 y el 70% de las adiciones de materiales cementantes. Las puzolanas volcánicas son materiales silíceos que tienden a ser reactivos si son enfriados rápidamente. Este material es capaz de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas y pueden representar entre el 5 y el 15% de las adiciones de materiales cementantes. Sin embargo, las puzolanas colombianas no son abundantes ni de buena calidad, por lo que no son muy usadas. (Florez, 2015) (National Ready Mixed Concrete Association, 2008)

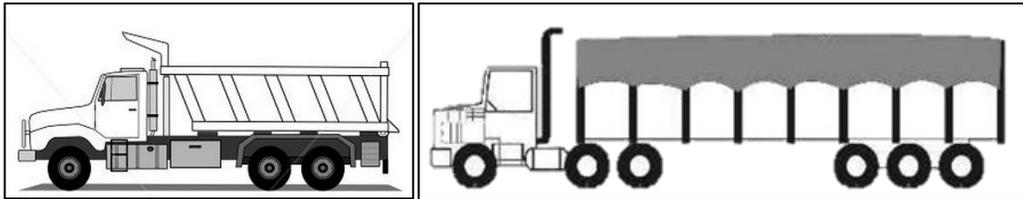
Las cenizas volantes, también llamadas *Fly Ash*, son un subproducto no combustible de las termoeléctricas que utilizan carbón mineral para la generación de energía. Este material puede representar entre el 5 y 65% de las adiciones cementantes. En Colombia, solo Acerías Paz del

Río y Pacific Cairo producen esta ceniza y se las venden exclusivamente a Argos y Holcim. (Florez, 2015) (National Ready Mixed Concrete Association, 2008)

El humo de sílice es un subproducto de la producción de metal silíceo que se recolecta de la chimenea de gases de los hornos, es extremadamente fino y tiene propiedades puzolánicas. Este humo puede representar entre el 5 y 12% de las adiciones cementantes. Las arcillas calcinadas son puzolanas sintéticas obtenidas de la calcinación controlada de minerales de origen natural y se emplean en la misma proporción que las puzolanas volcánicas. Finalmente, la caliza de alta calidad, es obtenida en las canteras de piedra caliza generalmente explotadas por las cementeras. (Florez, 2015) (National Ready Mixed Concrete Association, 2008)

La mayor parte de los materiales para adición expuestos anteriormente son granulados y se transportan en volquetas o camiones para graneles con carpas, como se muestra en la ilustración 2. Estos vehículos tienen capacidades de entre 18 y 35 Ton, son cargados con retroexcavadoras y su descargue se realiza a través de un sistema hidráulico que mueve el volcó o la carrocería hasta una posición de aproximadamente 45°. (Vega, 2015)

Ilustración 2  
Camión granelero con carpa



Fuente: Corporación de Investigaciones de Colombia - PROCOLOMBIA. (2004). Guía ambiental transporte de carbón. Medellín: Editorial Marín Vieco Ltda. / Shutterstock. (s.f.). Vector de camión volquete

El único material que debe manipularse de forma diferente es el humo de sílice. Debido a su extrema finura, deben garantizarse procedimientos especiales para su manipulación y vaciado o curado del cemento con este material. Transportar el humo de sílice sin densificar implica costos adicionales de manipulación y riesgos ambientales y para la salud de los operarios. Por esta razón las formas de transporte más convenientes son densificado para que alcance un tamaño

similar al del cemento y granulado que se logra añadiendo humedad al material. (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007)

### 6.3. CLINKER

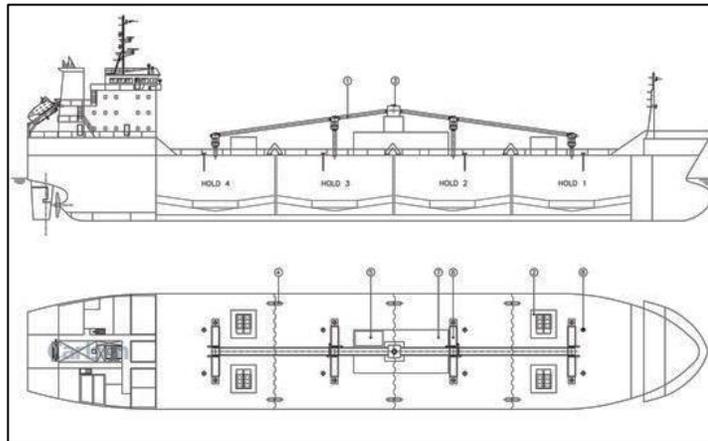
El *clinker*, como se mencionó en la descripción de las materias primas, es el elemento constitutivo más importante del cemento. Es el resultado de la calcinación de materiales arcillosos y calcáreos con contenidos específicos y precisos de óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro. Es un material inorgánico, granulado y de color gris oscuro (Holcim España, 2011). La mayor parte de las plantas cementeras producen su propio *clinker* ya que cuentan con la infraestructura para realizar la clinkerización, sin embargo, algunas plantas solo tienen proceso de molienda de cemento y por lo tanto deben trasladar el *clinker* desde otras plantas de la misma empresa cementera como el caso de la planta Cemex Santa Rosa. (Diago, 2015)

Las empresas cementeras compran *clinker* en ocasiones específicas: cuando prevén un paro de producción durante un periodo significativo de tiempo o cuando las condiciones del mercado internacional son favorables. Esta práctica no es muy frecuente pues el costo de traer el material desde el exterior se incrementa por efecto del transporte nacional, llegando a ser el doble cuando las plantas se encuentran ubicadas en el interior del país. El transporte terrestre de *clinker* se hace principalmente en camiones carpados de altas configuraciones, en su mayoría tracto-camiones de hasta 35 Ton, con el fin de disminuir el costo. (Florez, 2015) (Serna, 2014)

El transporte internacional de *clinker* se realiza en buques graneleros auto-estibantes (bodegas con planos inclinados), diseñados y construidos especialmente para el transporte de cemento y *clinker* a granel, pues estos materiales son abrasivos. Estos navíos no tienen grandes estructuras en cubierta, como se muestra en la Ilustración 3; solo cuentan con pequeñas casetas donde se instalan los equipos para cargue y descargue. El sistema de cargue y descargue puede ser neumático o mecánico y cuenta con elementos como: tomas para cargar el cemento, extractores, sinfines o alimentadores de tornillo, acumuladores, tolvas de succión, carro grúa y compresores. Adicionalmente, el sistema de cargue y descargue determina la estructura de los

espacios de carga, los cuales deben ser acondicionados antes del cargue para evitar la contaminación del material. El material almacenado tiene un factor de estiba de entre 0,61 y 0,84 m<sup>3</sup> por tonelada. (González Blanco, 2005)

Ilustración 3  
Buque granelero para cemento y *clinker*



Fuente: HW Carlsen. (2015). Carlsen: Sistema de auto-carga y descarga para buques graneleros (para cemento)

#### 6.4. EMPAQUE Y EMBALAJE

El empaque del cemento, como se describe en la caracterización del producto, está elaborado con papel *Kraft*. Entre los proveedores de este producto se encuentran: Cartón de Colombia (Smurfit Kappa) con plantas en Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla y Papeles Nacionales con un plantas en Cartago y Bogotá (Directorio de fábricas, 2012). Los sacos vacíos son enviados a las plantas cementeras en *pallets* con estiba de madera y en vehículos de diferentes configuraciones. Cuando se utilizan tracto-camiones la cantidad máxima de *pallets* transportados es de 36, mientras que si se envían en camiones la máxima cantidad de *pallet* transportados es de 18. (Calderón, 2015)

En cuanto a material de embalaje, los elementos que se utilizan son: película plástica (también llamada *stretch film*) y la estiba de madera. El uso de película plástica no es muy común, solo se utiliza con el fin de garantizar la integridad del *pallet*, cuando la ruta de

distribución es muy larga, sin embargo, algunas empresas utilizan este material sin importan la distancia que deba recorrer el producto para ser entregado. (Calderón, 2015) (Florez, 2015)

La estiba de madera que generalmente tiene una vida útil de 6 meses y un peso de entre 23 y 33 Kg ha sido utilizada tradicionalmente por el sector a pesar de que estibas de otros materiales cumplen con los requerimientos de carga y tienen mayor vida útil. Su resistencia dinámica es de 2 Ton y su resistencia estática es de 6 Ton. Estas resistencias determinan la cantidad de cemento empacado en cada unidad de carga y la cantidad de *pallets* que pueden ser apilados durante el almacenamiento. Aunque el proveedor de estibas generalmente es un tercero, las cementeras tienen talleres de carpintería dentro de sus instalaciones para realizar actividades de reparación. Entre las empresas proveedoras de estibas de madera se encuentran Central de Maderas SAS ubicada en Bogotá y Empaques y Estibas Ltda. ubicada en Facatativá. (Rios Wilches, 2014) (Central de Maderas SAS, 2014) (Empaques y Estibas Ltda., 2012)

## 6.5. COMBUSTIBLES

Los hornos de Clinkerización utilizan diferentes combustibles, de los cuales el más importante es el carbón. Esta es una roca sedimentaria formada por carbono, oxígeno e hidrógeno que se da por la fosilización de materia vegetal acumulada entre estratos de roca y sometida a altas presiones y temperaturas. Cuanto mayores son las temperaturas y las presiones a las cuales se fosiliza el material vegetal, mayor es el poder calorífico del carbón resultante. El color de esta roca es negro brillante y su extracción se puede hacer subterránea o a cielo abierto. En Colombia las principales empresas carboníferas son: El Cerrejón, Drummond, C.I. Prodeco, Consorcio Minero Unido, Carbones de la Jagua y Carbones El Tesoro. Los distritos mineros que cuentan con yacimientos de este material se muestran en la Tabla 9. (Castillo, García, Ardila, Chamat, & Forero, 2009) (La Nota.com, 2014) (Cerrejón, 2015) (Carbounión, 2015)

Tabla 8

Distritos mineros con encadenamiento productivo de carbón

Distrito	Departamento	Municipios
Amagá	Antioquia	Amagá, Agelópolis, Fredonia, tiribí y Venecia.
Norte de Boyacá	Boyacá	Betétiva, Boavita, Covarachía, Chiscas, Chita, El Cocuy, El espino, Guicán, Jericó, La Uvita, Panqueba, Paya, Paz de Río, Pisba, San Mateo, Sativa Norte, Sativa Sur, Soatá, Socotá, Socha, Susacón, Tasco y Tipacoque.
Sugamuxi	Bogacá	Belén, Corrales, Duitama, Firavitoba, Gámeza, Izá, Mongua, Monguít, Nobsa, Paipa, Pesca, Santa Rosa de Viterbo, Sogamoso, Tibasosa, Topagá, Tota y Aquitania.
Zipaquirá - Samacá	Cundinamarca	Ráquira, Samacá, Cogua, Cucunubá, Guachetá, Lenguaque, Suesca, Satatausa, Tausa, Ubaté, Zipaquirá, Simijacá, Susa, Villa Pinzó y Carmen de Carupa.
El Tambo - Buenos Aires	Cauca	Buenos Aires, Cajibío, El Tambo, Morales, Puerto Tejada, Santander de Quilichao y Suarez.
La jagua	Cesar	Becerril, El Paso (La Loma), Codaci y La Jagua
Cali El Dovio	Valle	Cali, Bolívar, Buenaventura, Buga, Bugalagrande, Caicedonia, Candelaria, El Dovio, Ginebra, Guacarí, Jamundí, Sevilla, Vijes, Yumbo, Tuluá, Cartago, La Victoria y Ansermanuevo.
Cúcuta – Pamplona	Norte de Santander	Bucarásica, Cúcuta, El Zulia, Los Patios, Salazar, San Cayetano, Sardinata, Tibú, Villa del Rosario, Bochalema, Cáchira, Chinácota, Chitagá, Cucutilla, Durania, Mutiscua, Pamplona, Silos y Toledo.

Fuente: Castillo, A., García, J., Ardila, R., Chamat, V., & Forero, J. (2009). Anuario estadístico minero colombiano. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

El gas natural y el *fuel oil* también son combustibles muy utilizados en la industria. En algunas empresas cementeras los hornos son mixtos, por lo que pueden combinar alguna de estas alternativas con el carbón. Otro combustible fósil que se emplea en la industria es el *petcoke* o *petroleum coke*, el cual es un derivado sólido de la refinación de petróleo. Sus características físico-químicas dependen de la tecnología que se utiliza para la refinación, y cuando es apto para ser utilizado como combustible, su poder calorífico es muy alto, su quema no desprende ceniza y su contenido de azufre es elevado. Aunque a nivel mundial es bastante utilizado por la industria del cemento, en Colombia solo se quema cuando no se cuenta con ninguna de las otras fuentes

combustibles principales debido a que su alto contenido de azufre afecta las características finales del cemento. (Oxbow, 2013) (Florez, 2015)

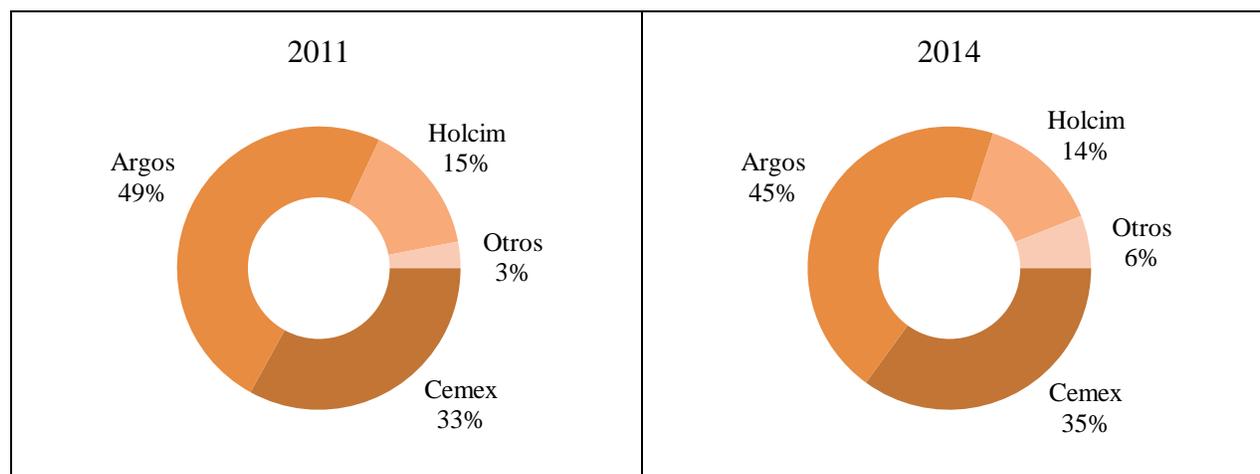
Otros tipos de materiales que se emplean como combustible en las cementeras son las biomasas, en especial la cascarilla de arroz. Este tipo de materiales no tienen un alto poder calorífico, por lo que no puede utilizarse en grandes proporciones. Por último, algunas cementeras mezclan con sus combustibles materiales de desecho de otras industrias, incluyendo aceites de vehículo y desechos tóxicos u orgánicos. Esta actividad es llamada co-procesamiento y una de las empresas que lidera esta tendencia es Holcim. (Florez, 2015) (Calderón, 2015)

El gas natural es enviado a través de ductos y el *fuel oil* se transporta en carro-tanques. Los combustibles a granel son transportados en camiones graneleros como los descritos con anterioridad. En este grupo se incluye la cascarilla de arroz que es compactada antes de ser cargada para su envío. En ocasiones los combustibles a granel pueden llegar a la planta con algún grado de humedad, en este caso, deben ser secadas en invernaderos antes de ser molidas y utilizadas. (Florez, 2015)

## 7. PRODUCTORES

En la actualidad, el sector está conformado por 7 empresas cementeras, de las cuales 4 son proyectos independientes: Cementos Tequendama, Cementos San Marcos, Ultracem y Cementos del Oriente. Estas limitan su área de influencia a la región en la que están ubicadas, mientras que las tres cementeras principales, Cemex, Argos y Holcim, tienen presencia en todos los centros de consumo del país. En la actualidad, el mercado de cemento está dividido como se muestra en el Gráfico 2.

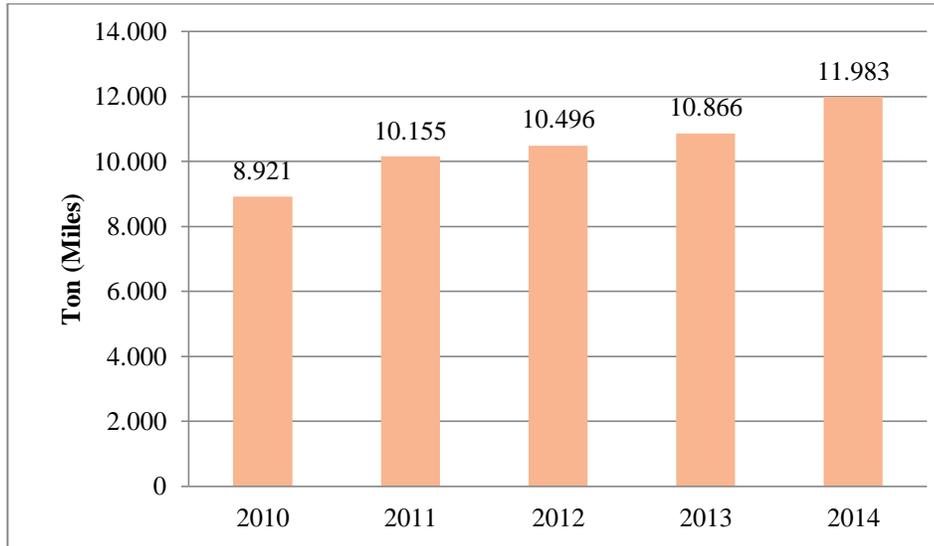
Gráfico 2  
Participación del mercado industria del cemento 2011 - 2014



Fuente: Cemex Colombia. (2013). Prospecto de Información de la Emisión de Papeles Comerciales de Cemex Colombia S.A. Bogotá D.C.: Cemex Colombia  
Dinero. (10 de Octubre de 2014). Futuro concreto. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Dinero.com: <http://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/argos-cemex-holcim-disputan-mercado-local-del-cemento/202673>

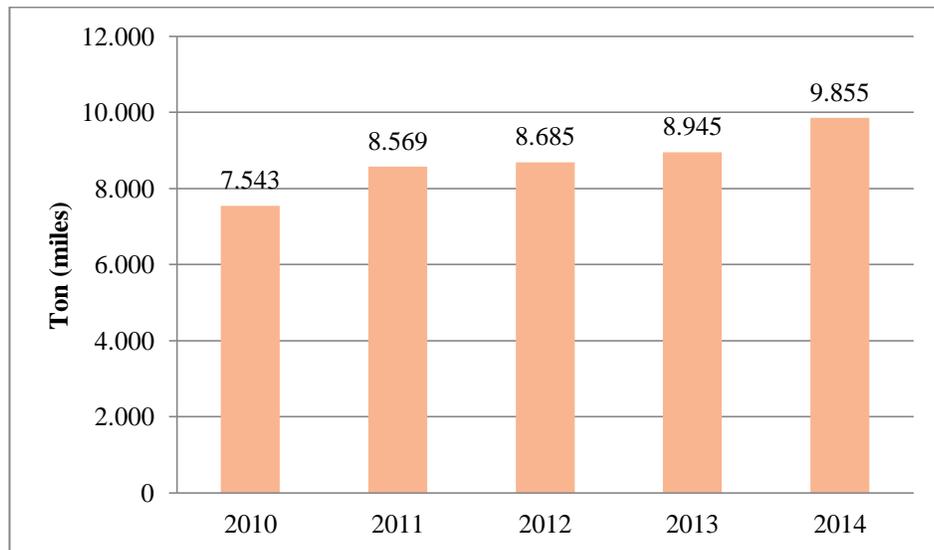
Como se muestra en el Gráfico 3, la producción anual de cemento en Colombia ha tenido un incremento desde el 2010 del 34% aproximadamente, a pesar de que para los años 2012 y 2013 dicho incremento fue inferior al 4%. Esta tendencia se ve también reflejada en la producción anual de *clinker*, que tuvo un incremento aproximado del 31% desde 2010, como se puede ver en la Gráfica 4.

Gráfico 3  
Producción anual de cemento en Colombia



Fuente: DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

Gráfico 4  
Producción anual de *clinker* en Colombia



Fuente: Ministerio de Minas y Energía. (2 de Febrero de 2015). Análisis de la producción de Cemento, Clinker y Caliza Cementera, para el año 2014, segundo semestre, cuarto trimestre y mes de diciembre. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO. (Agosto de 2013). Serie de tiempo histórica de producción de Clinker. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de Ministerio de minas y energía: Colombia minera: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=203&grupo=551](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=203&grupo=551)

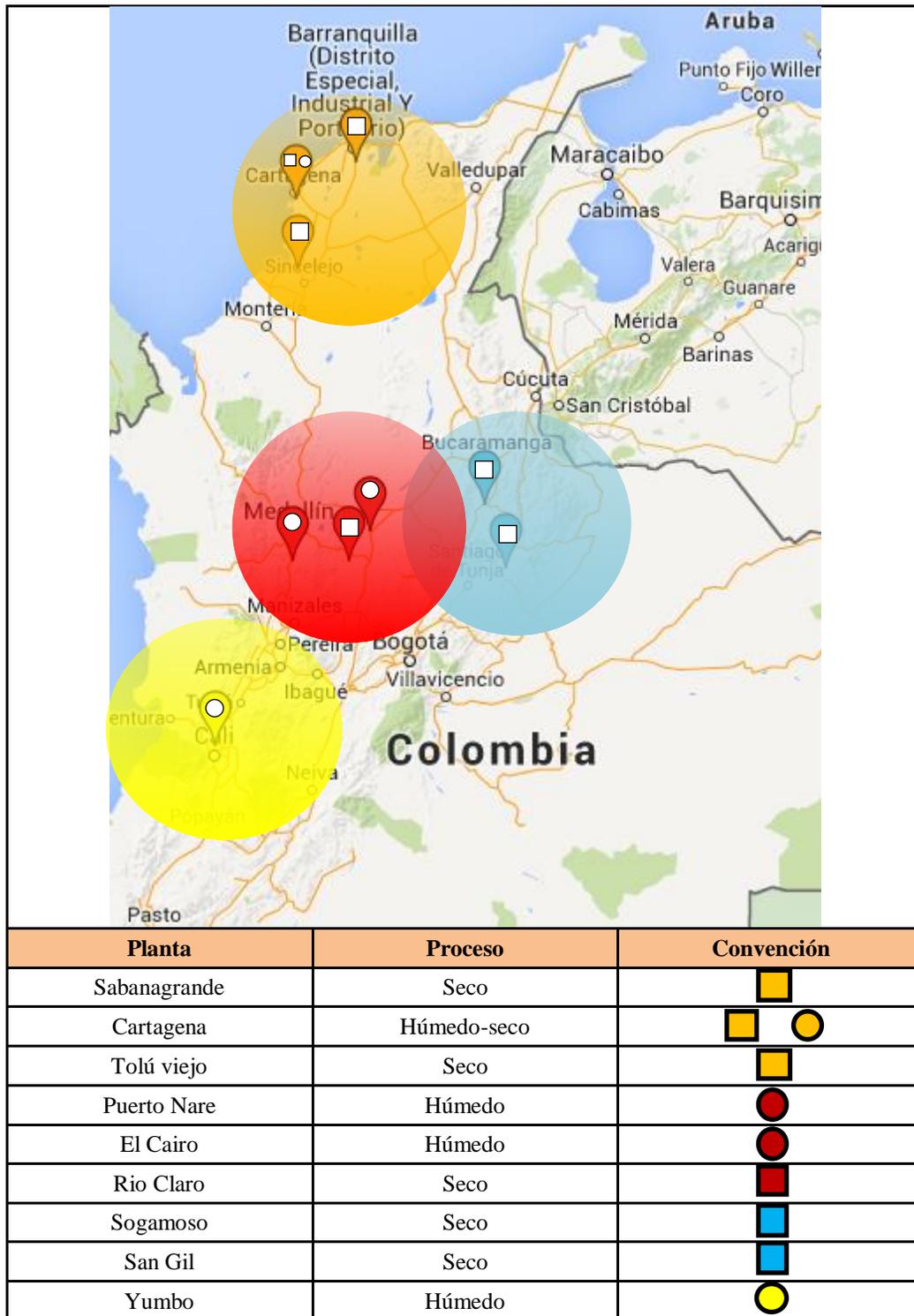
## 7.1. LOCALIZACIÓN

Como se mencionó en el capítulo de proveedores, en Colombia las plantas cementeras se ubican en municipios con yacimientos de material calizo y por esta razón dichas plantas se encuentran diseminadas por todo el territorio nacional. Según los expertos, el área principal de influencia de cada una de estas plantas es de 200 Km a la redonda, lo que significa que el cemento terminado no debería transportarse más allá de este radio de acción, pues los costos de transporte serían inconvenientes. Sin embargo, para las cementeras es importante optimizar su capacidad instalada y tener presencia en todo el país, por lo que después de superado el punto de equilibrio de la planta, se realizan despacho más allá de los 200 km. (Florez, 2015)

El grupo empresarial con mayor número de plantas en el país es Argos con 9 plantas cementeras de las cuales cinco tienen proceso productivo seco, tres tienen proceso productivo húmedo y una tiene líneas productivas húmedas y una seca. Esta última es la planta más importante para la empresa, pues es la de mayor capacidad instalada y la única que cuenta con un puerto granelero para clinker y cemento. Las principales regiones de influencia de Argos son: la costa Caribe, Santander y Boyacá, Antioquia y Valle, como se puede ver en la Tabla 9. (Argos Colombia, 2015)

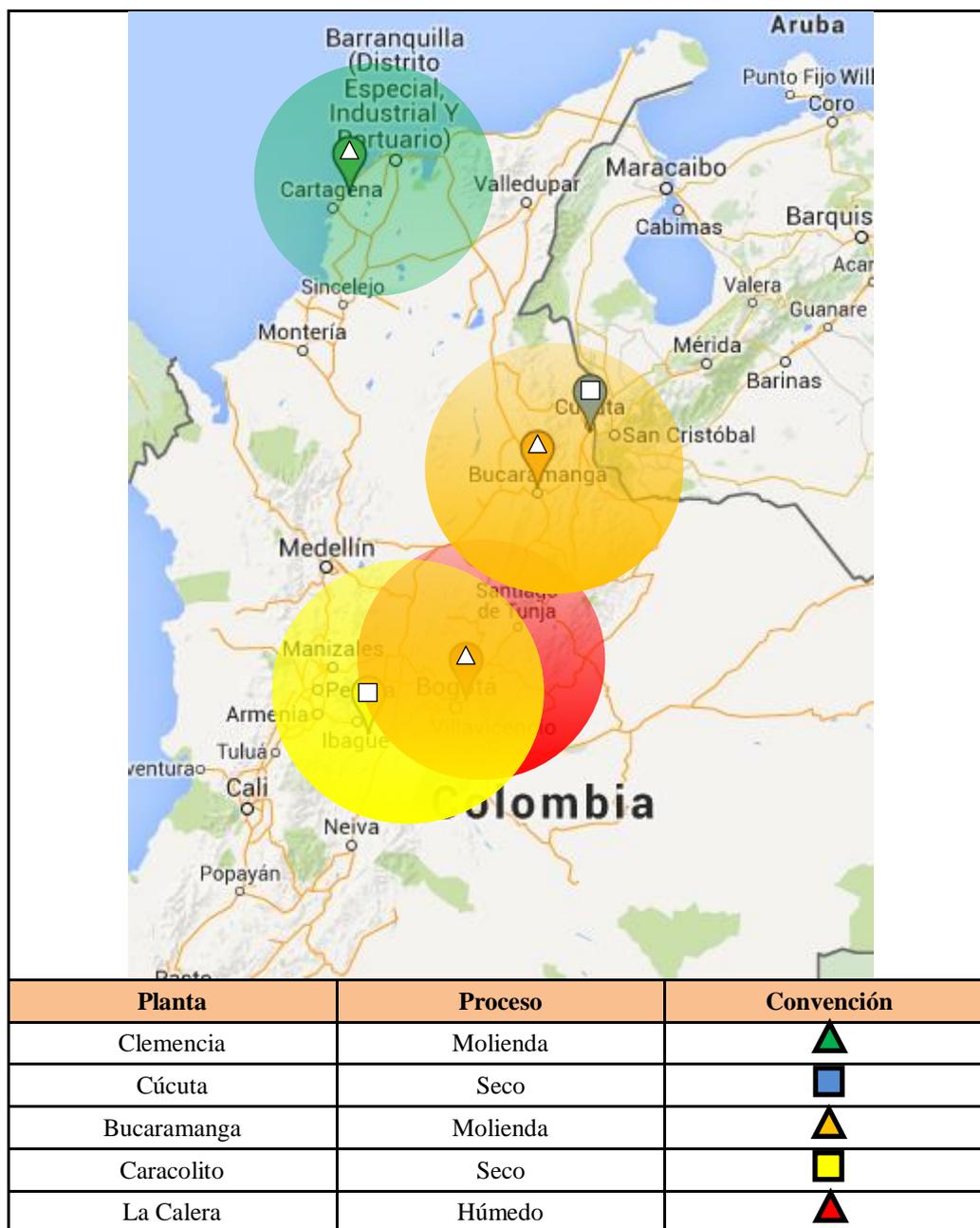
Cemex cuenta con cinco plantas, de las cuales dos realizan proceso productivo seco y las tres restantes tienen proceso de molienda de *clinker* únicamente. El clinker que se muele en estas últimas es provisto por las dos que poseen proceso productivo completo. Las principales regiones de influencia de Cemex son: la costa Caribe, Santanderes, Cundinamarca, Tolima y el eje cafetero, como se ve en la Tabla 10. Por otro lado, Holcim Colombia cuenta con una única planta de producción en seco ubicada en Nobsa, por lo que su área principal de cobertura es Boyacá, como se ve en la Tabla 11. Por último, a excepción de Ultracem, que solo cuenta con molienda, los proyectos independientes tienen producción en seco y se encuentran distribuidos de la siguiente manera: Ultracem en la región Caribe, Cetesa en Cundinamarca, Cementos del oriente en Boyacá y San Marcos en Valle, como se ve en la Tabla 12. (Cemex, 2014) (Holcim Colombia, 2015) (Ultracem, 2015) (Cementos Tequendama, 2012) (Cementos del Oriente, 2012) (Cementos San Marcos, 2015)

Tabla 9  
Localización plantas de cemento Argos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10  
Localización plantas de cemento Cemex



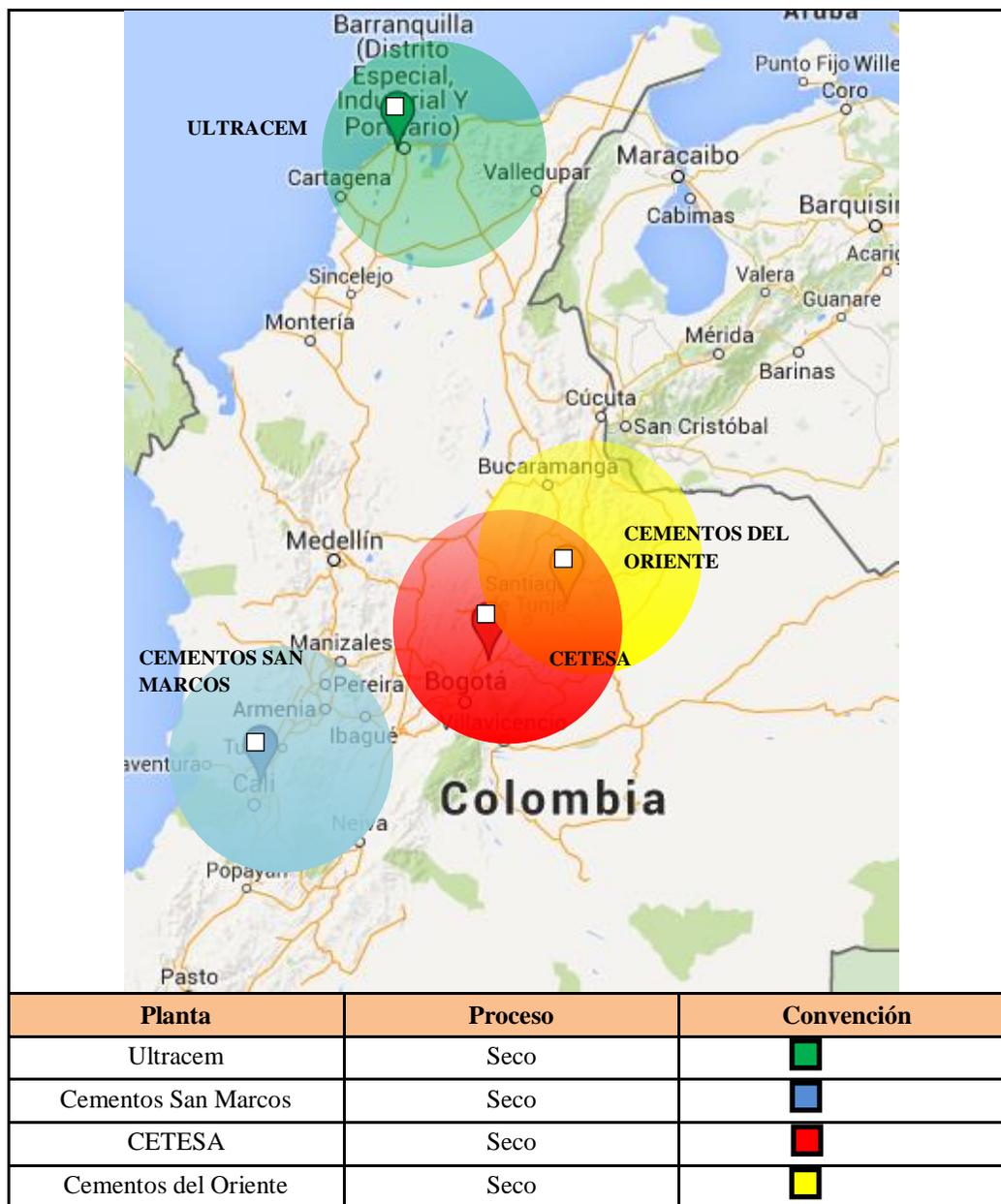
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11  
Localización plantas de cemento Holcim



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12  
Localización plantas de cemento de los proyectos independientes



Fuente: Elaboración propia

## 7.2. ANÁLISIS DE COSTOS Y DE ACTIVIDAD

En Colombia, las empresas cementeras tienen estructuras de costos en las que pocos rubros concentran el mayor peso, estos son: transporte (interno y externo), otros costos indirectos, otros costos directos y los energéticos, como se observa en la Tabla 13. Estas empresas buscan optimizar los costos asociados al transporte interno y externo de materiales, ya que este rubro (transporte interno, externo y distribución a nodos) representa en promedio el 24% de los costos totales y en algunos casos alcanza el 35% (Quintero, 2015).

Tabla 13  
Distribución de costos en la industria del cemento

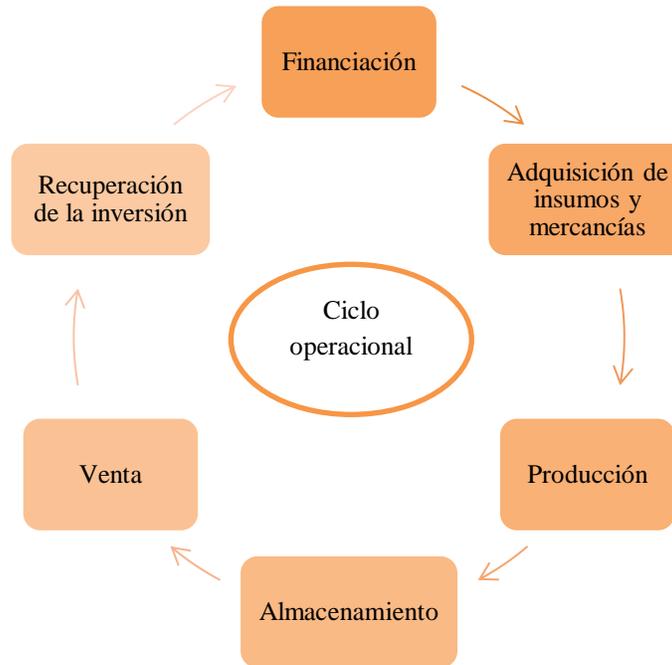
Factor	Participación
Transporte externo	19%
Otros costos indirectos	15%
Otros costos directos	13%
Energéticos (carbón y gas)	11%
Mantenimiento	9%
Electricidad	8%
Materia prima	7%
Ventas	6%
Administración	4%
Mano de obra	3%
Distribución nodos	3%
Transporte interno	2%

Fuente: Argos Colombia. (2013). Posición de Cementos Argos respecto al debate sobre los niveles de precio y actuación competitiva de la compañía en Colombia. Bogotá: Argos Colombia.

La actividad de una empresa de producción se puede resumir en 6 periodos: financiación, adquisición de insumos y mercancías, producción, almacenamiento, venta y recuperación de la inversión, como se puede ver en la Ilustración 4. Cada vez que se cumplen los 6 periodos se completa un ciclo operacional. El número de ciclos operacionales que se completan durante un año reflejan la eficiencia de la actividad de una empresa. Las cementeras que cuentan con varias plantas en el territorio nacional, tienen ciclos operacionales que oscilan entre dos y tres meses.

Esto depende de políticas internas de cada organización como la política de negociación con clientes y la política de inventarios. (Ruiz, Gaitán, & Morato, 2005)

Ilustración 4  
Ciclo operacional de empresas de producción



Fuente: Ruiz, J., Gaitán, J., & Morato, J. (2005). Logística comercial. Madrid, España: Mc Graw Hill.

Los dos elementos que permiten determinar el ciclo operacional son la rotación de cartera y la rotación de inventarios. La rotación de cartera es el tiempo que transcurre desde la venta del producto hasta que se realiza el cobro del mismo (Ruiz, Gaitán, & Morato, 2005). Como se ve en la Tabla 14, para el año 2012, Holcim Colombia resalta por su rotación de cartera, con una antigüedad de 12 días. Por otro lado, la rotación de inventario indica cuantas veces se recupera el capital invertido en un artículo durante un periodo específico de tiempo (Ruiz, Gaitán, & Morato, 2005). Para este indicador, en el año 2012, Holcim Resalta con un inventario que rota cada 21 días.

Tabla 14  
Indicadores de actividad de empresas cementeras 2012

<b>Análisis de actividad comparativo 2012</b>				
Indicador	Cemex	Argos	Holcim	Cetesa
Rotación de la cartera (veces)	18	7	31	29
Antigüedad de la cartera (días)	20	54	12	12
Rotación de los inventarios (veces)	9	10	17	4
Antigüedad de los inventarios (días)	40	34	21	90
Ciclo operacional (días)	60	88	33	103

Fuente: Elaboración propia basado en Superintendencia de Sociedades. (29 de Abril de 2013). Formulario Empresarial 860002523 Cemex Colombia S.A. Bogotá, Colombia.  
Superintendencia de Sociedades. (29 de Abril de 2013). Formulario Empresarial 860002523 Cemex Colombia S.A. Bogotá, Colombia.  
Superintendencia de Sociedades. (2 de Abril de 2014). Formulario Empresarial 830099238 Cementos Tequendama S.A.S. Bogotá, Colombia.  
Superintendencia de Sociedades. (26 de Marzo de 2014). Formulario Empresarial 860009808 Holcim Colombia S.A. Bogotá, Colombia.

### 7.3.DESCRIPCIÓN LOGÍSTICA DEL PROCESO

#### 7.3.1. LOGÍSTICA DE ENTRADA

##### Proceso de gestión de proveedores:

Las entradas de este proceso son: el sistema de codificación de materiales, base de datos de proveedores potenciales, los requisitos técnicos y legales para la contratación y las especificaciones de materiales, como se observa en la Ilustración 5.

El proceso se puede iniciar de dos maneras. La primera es cuando el proveedor desea ser considerado por la cementera. La segunda es cuando la cementera está buscando nuevos proveedores y los contacta directamente. De cualquiera de las dos formas, se hace una evaluación del proveedor con base en documentación que incluye pero no se limita a estados financieros, documentos de constitución de la empresa, historial de clientes y portafolio de productos y servicios. Este portafolio se compara con el sistema de codificación de materiales para determinar los productos y servicios del proveedor que coinciden con necesidades de la

empresa. Adicionalmente, se solicitan muestras de los materiales ofertados de acuerdo a las especificaciones, que en algunos casos incluyen ficha técnica y hoja de seguridad. (Libreros, 2013)

Los proveedores que sean aceptados de acuerdo a la evaluación, serán creados en el sistema y quedaran habilitados para participar en posteriores licitaciones o para ser contactados en el momento en que se requiera hacer una compra. Cuando inicia un proceso de licitación, se solicita a los diferentes proveedores que envíen sus propuestas o solicitudes de oferta. Estas se evalúan y después de un proceso de negociación, que incluye la revisión de los requerimientos técnicos y legales, se determina el valor final de la oferta mercantil y se adjudica el contrato al proveedor seleccionado. Finalmente se crea una carta de adjudicación que resume todas las condiciones del contrato. Con la firma de ambas partes de esta carta de adjudicación se puede dar inicio a la operación. (Calderón, 2015)

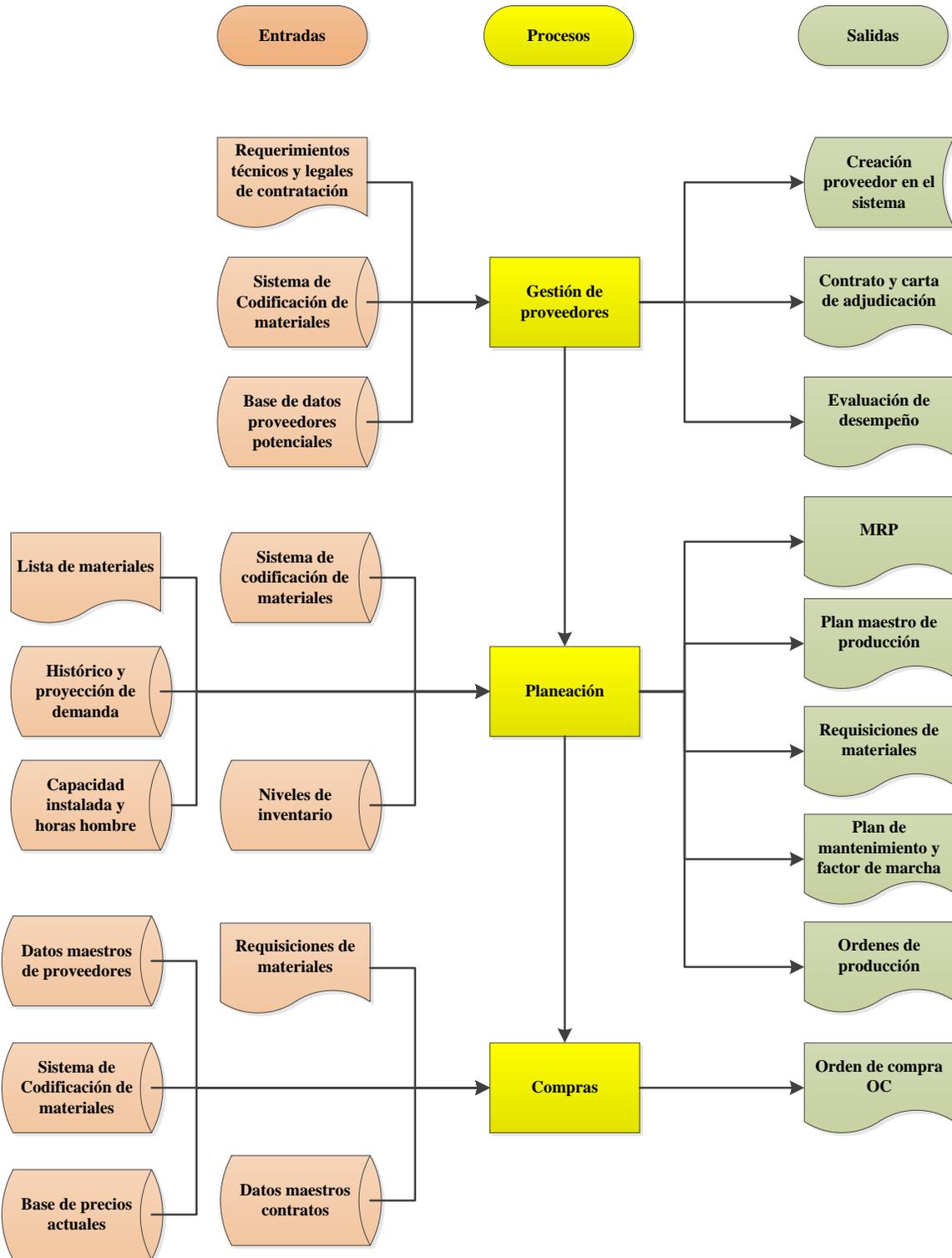
Cuando se va a realizar una compra a un proveedor con el que no se tiene contrato, el proceso de negociación de precio, requerimientos técnicos y legales, entre otros, se lleva a cabo en el momento de la compra. Después de entrar en operación, al proveedor se le practican evaluaciones de desempeño con base en las condiciones negociadas. Estas evaluaciones permiten retroalimentar el desempeño del proveedor. En caso de haber un contrato establecido, las evaluaciones permiten identificar la necesidad de crear un “otro si” para cambiar algún ítem del contrato o dar por terminado el mismo y abrir un nuevo proceso de licitación. (Quintero, 2015)

#### Planeación:

Las entradas de este proceso son: requerimientos de mantenimiento, la lista de materiales, el histórico de demanda, la proyección de demanda, los datos de las capacidades instaladas y horas hombre, el sistema de codificación de materiales, el inventario actual, el inventario máximo, como se observa en la Ilustración 5.

Ilustración 5

Diagrama de entradas y salidas gestión de proveedores, planeación y compras.



Fuente: Elaboración propia

El proceso inicia con la revisión de los requerimientos de mantenimiento que incluyen los datos de fábrica de los equipos y datos suministrados por el departamento técnico. Con esta información se establece un plan de mantenimiento preventivo que indica la máquina que debe suspender su operación, la fecha en que debe realizarse y el personal asignado. Con esta información se determina el factor de marcha, que es el tiempo del año menos el tiempo asignado a mantenimiento. (Silva, 2015) (Florez, 2015)

Con base en el histórico y la proyección de la demanda se estiman las cantidades que se deben producir. Se desarrolla el plan maestro de producción teniendo en cuenta las capacidades instaladas, el tiempo necesario para mantenimiento y las horas hombre disponibles. Este plan se revisa y actualiza periódicamente de acuerdo a las contingencias que se vayan generando a lo largo del proceso. Teniendo en cuenta el plan maestro de producción y la lista de materiales se hace la consolidación de la demanda agregada y la planeación de requerimiento de materiales (MRP). (Florez, 2015) (Silva, 2015)

A partir de este plan se generan órdenes de producción semanales o mensuales que determinan lo que se va a procesar en cada etapa. Teniendo en cuenta dichas ordenes, el MRP, el inventario actual e inventario máximo se establecen las necesidades de compra y se generan requisiciones de materiales o servicios en el sistema. Los materiales y servicios solicitados en cada requisición pueden estar contemplados o no dentro de un contrato. Las requisiciones contienen datos generales de la adquisición, el lugar donde se requieren y el centro de costo donde debe ser cargado el gasto. (Diago, 2015) (Quintero, 2015) (Libreros, 2013)

#### Proceso de Compra:

Las entradas de este proceso son: el sistema de codificación de materiales, las requisiciones de materiales, los datos maestros de proveedores, los datos maestros de contratos y los datos de precios actuales, como se observa en la Ilustración 5.

El proceso inicia con la recepción de las requisiciones de materiales que incluyen la descripción y cantidad detallada de cada uno. Después de esto se revisa el sistema de codificación de materiales con el fin de determinar las características y especificaciones propias

del producto (como unidad de compra y lead time), y los datos maestros de proveedores para conocer el precio unitario del producto. Si la compra se hace a través de un contrato se deben revisar las demás especificaciones de la negociación incluidas en el mismo. (Libreros, 2013) (Quintero, 2015)

Teniendo en cuenta toda la información previa se genera la OC por la cantidad requerida, se solicita la autorización o liberación y se envía al proveedor correspondiente el cual debe confirmar la recepción de la OC, aceptando las condiciones de la misma. Una vez emitida la OC, se realiza un proceso de seguimiento basado en el lead time. Si se identifica un retraso o cualquier otro cambio en las condiciones de entrega de la materia, se notifica dicho cambio a las áreas correspondientes. (Libreros, 2013) (Quintero, 2015)

#### Recepción de materias primas:

Las entradas de este proceso son: los materiales a recibir, documentación de la entrega del proveedor, el documento de OC, equipo de descargue e inspección, el sistema de codificación de materiales y energía, como se observa en la Ilustración 6.

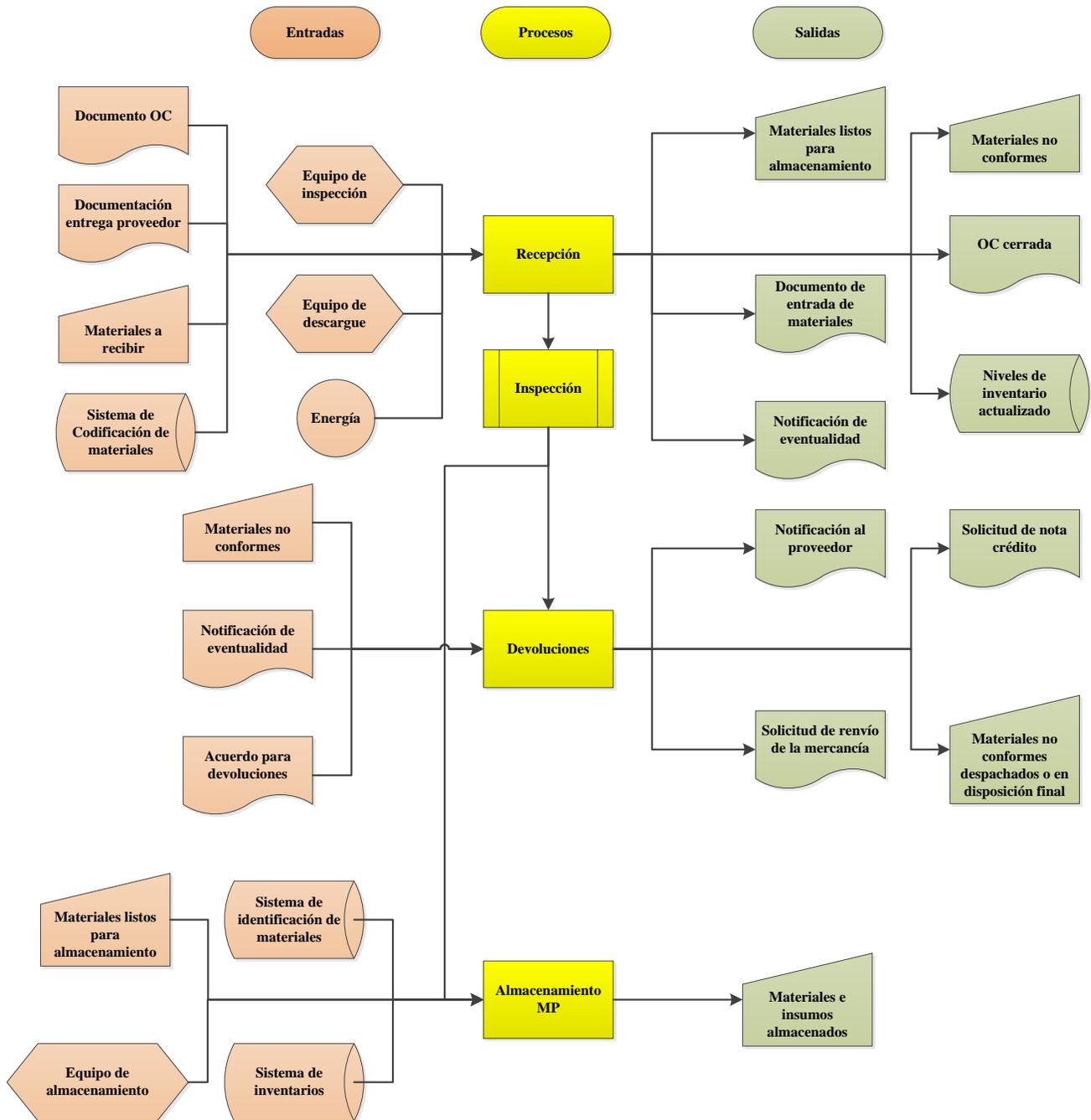
Este proceso inicia con la llegada de materiales a las instalaciones de la cementera. Cuando el material es un granel la recepción puede realizarse a través de bandas transportadoras o volquetas. En el caso de la recepción por bandas transportadoras, el material es enviado por el proveedor desde la trituradora ubicada en la cantera como se ve en la Tabla 15. El sistema de bandas transportadoras, lleva el material hasta el patio de almacenamiento correspondiente, en donde un brazo mecánico dispone el mismo en la ubicación previamente definida para su almacenamiento. En el caso de la caliza, esta se recibe y almacena de acuerdo a su calidad, que puede ser alta, media o baja. Este sistema de bandas solo puede ser utilizado cuando las materias primas contienen poca humedad pues de lo contrario afectarán el buen funcionamiento del mismo. (Florez, 2015) (Silva, 2015) (Calderón, 2015)

Las bandas transportadoras son cubiertas o tubulares para proteger el material de las condiciones atmosféricas y evitar la contaminación por desprendimiento de material particulado. Adicionalmente, algunas plantas cementeras utilizan para el proceso de clasificación de la caliza

un equipo especializado llamado Geoscan que realiza un análisis en línea para almacenar el material de forma clasificada. (Florez, 2015) (Silva, 2015) (Calderón, 2015)

Ilustración 6

Diagrama de entradas y salidas recepción, devoluciones y almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la recepción por volquetas, el material previamente triturado, es enviado desde la cantera y al ingresar en las instalaciones de la cementera, pasa por una báscula y luego se dirige a una zona adecuada para retirar las carpas de las volquetas. Posteriormente, el material es dispuesto en el patio de almacenamiento correspondiente según su calidad. Este tipo de vehículos posee un sistema hidráulico que permite mover el volcó de su posición horizontal a una de 45° aproximadamente para lograr un descargue eficiente del material. Los tipos de volquetas más utilizados para el transporte de materias primas en la industria son las de 7 y 15 metros cúbicos que tienen dos y tres ejes respectivamente. (Florez, 2015) (Diago, 2015) (Quintero, 2015)

Tabla 15  
Banda transportadora para material a granel

Tramo inicial de banda transportadora Argos Columbus	Tramo intermedio de banda transportadora Cemex Caracolito
	
<p data-bbox="269 1178 873 1241"><b>Tramo final de banda transportadora Argos Columbus</b></p> 	

Fuente: Uribe, G., Ramírez, M., & Olano, D. (Mayo de 2014). Visita Planta de Cartagena. / Hernández, M. (6 de Marzo de 2015). Fotos planta cementera. Ibagué, Colombia.

Cuando los materiales a recibir se encuentran unitarizados en *pallets*, cajas o bolsas, como por ejemplo el material de empaque para el producto terminado, estos se reciben en los muelles de recepción de mercancías y se descargan, ya sea utilizando montacargas, o por medios manuales. Dependiendo de la naturaleza del producto que se esté descargando, se deben aplicar medidas de seguridad para garantizar la integridad de la carga y el bienestar del personal. (Diago, 2015)

Durante la recepción de la mercancía, se debe revisar la documentación respectiva. Esta documentación incluye: en primer lugar, la remesa, que permite constatar la información de la mercancía transportada, el remitente y el destinatario y los tiempos pactados y ejecutados de cargue y descargue. En segundo lugar, la orden de cargue, que contiene detalles sobre la información de la carga y del viaje. En tercer lugar, la ficha técnica y la hoja de seguridad si la mercancía a recibir las requiere. Por último, el documento de OC emitido por la cementera con el fin de verificar que las características y cantidad de producto recibido están acordes con el pedido realizado. (Ministerio de transporte, 2013)

Después de revisada la documentación, se procede a realizar la inspección de la mercancía recibida. En el caso de los materiales a granel se toman muestras cada cierto número de metros cúbicos de material definidos por las políticas de calidad de cada empresa. Estas muestras son sometidas a pruebas de laboratorio con el fin de verificar que el material cumpla con las propiedades físico-químicas requeridas por las especificaciones técnicas. En esta fase es muy importante determinar las cantidades de calcio, sílice, aluminio y hierro con las que cuenta cada material. Esta información será utilizada en el proceso de dosificación. (Quintero, 2015) (Diago, 2015) (Florez, 2015)

Para los productos unitarizados en *pallets*, cajas o bolsas, el proceso de inspección inicia con la revisión del embalaje asegurando que los paquetes no estén rotos, abollados, húmedos o con cualquier otra evidencia de manipulación inadecuada. Posteriormente se hace un muestreo aleatorio en el que se inspecciona todo el producto contenido en las unidades de embalaje seleccionadas y se valida que el mismo cumpla con todas las características pactadas en el proceso de compra. Los productos o materiales que no cumplan con las especificaciones serán

calificados como no conforme, generando al departamento de compras una notificación de eventualidad. (Quintero, 2015) (Diago, 2015) (Florez, 2015)

Una vez inspeccionada la mercancía, se utiliza el sistema de codificación de materiales para hacer su ingreso al sistema de inventarios a través de un documento de entrada de materiales. Este documento se anida a la OC correspondiente y esta se cierra automáticamente si las cantidades de ambos coinciden. De no ser así la OC deberá ser cerrada manualmente teniendo en cuenta las consideraciones pertinentes. (Quintero, 2015)

#### Devolución materias primas defectuosas:

Las entradas de este proceso son: el material o producto no conforme, la notificación de eventualidad y el acuerdo para devoluciones establecido con el proveedor, como se observa en la Ilustración 6.

Si el producto no conforme es un material a granel, como por ejemplo la caliza, el yeso o el carbón, estos no se devuelven al proveedor. Dependiendo del material, este se somete a un proceso de corrección o se ajusta la dosificación del mismo durante la operación. No obstante, debido al incumplimiento de las especificaciones técnicas, se penaliza económicamente al proveedor. (Quintero, 2015)

Para el caso de materiales unitarizados, el proceso inicia cuando el departamento de compras recibe la notificación de eventualidad correspondiente al producto no conforme. Se revisa el acuerdo para devoluciones previamente establecido con el proveedor y se le envía al mismo la notificación correspondiente siguiendo los lineamientos del acuerdo. A la notificación de producto no conforme se adjunta la solicitud de nota crédito o en su defecto de reenvío de mercancía. Posteriormente, según lo establecido en el acuerdo de devoluciones con el proveedor, se procede a realizar el cargue y despacho de la mercancía defectuosa o se da disposición final a la misma. (Libreros, 2013)

### Almacenamiento:

Las entradas de este proceso son: las materias o productos listos para almacenamiento, equipo de almacenamiento, sistema de identificación de materiales y sistema de inventario, como se observa en la Ilustración 6.

Los materiales a granel se disponen en patios, domos o silos de almacenamiento. Cuando el almacenamiento se realiza en patios o en domos el material se apila a través de bandas transportadoras con brazo mecánico, *tripper* o volquetas, como se muestra en la Tabla 16. Los diversos materiales se apilan en montículos en las zonas previamente definidas de acuerdo al material y su pureza. Cuando el almacenamiento se realiza a través de *tripper*, los materiales se apilan en forma de capas de diferentes calidades, llevando a cabo el pre-homogenizado. Si se apila a través de volquetas o bandas transportadoras con brazos mecánicos, las zonas de almacenamiento de cada uno de los materiales se encuentran separadas y posteriormente se requerirá una pre-homogenización. (Calderón, 2015) (Diago, 2015) (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

Tanto el patio como el domo de almacenamiento deben contar con un techo para proteger los materiales de las condiciones climáticas o en su defecto se debe contar con una cobertura plástica para los montículos. Para realizar el control de inventarios de los montículos se realizan estudios topográficos periódicos que determinan el volumen de los mismos. Esta información se coteja con los datos de báscula y las salidas de materiales para producción. Las cementeras también cuentan con silos de almacenamiento de yeso, caliza y correctivos. Para el llenado de estos silos se utilizan volquetas de 15 y 30 toneladas que son descargadas en bandas transportadoras utilizando plataformas móviles de descargue. (Diago, 2015) (Quintero, 2015)

Cuando los materiales se almacenan en silos, se debe destinar un silo independiente a cada material. Los silos se llenan a través de bandas transportadoras y en este caso también se requerirá un proceso de pre-homogenización más adelante. En este sistema de almacenamiento, el control de inventarios se realiza a través de la revisión del nivel de los silos. (Calderón, 2015) (Diago, 2015) (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

Tabla 16  
Almacenamiento de caliza en patio y en domo

<b>Banda transportadora con brazo mecánico</b>	<b><i>Tripper</i> circular</b>
	
<b><i>Tripper</i> lineal</b>	<b>Equipo de pre-homegenización</b>
	

Fuente: Uribe, G., Ramírez, M., & Olano, D. (Mayo de 2014). Visita Planta de Cartagena / CA Building Products. (30 de Noviembre de 2012). Geométrica® / Restrepo Restrepo, C. (25 de Agosto de 2013). Cemento y concreto

Finalmente, en cuanto a los materiales unitarizados, después de la respectiva inspección, se determina la posición de almacenamiento en la estantería dentro de la bodega de insumos y se procede a realizar su ubicación utilizando un montacargas. Adicionalmente se debe emplear un sistema de identificación de materiales y un sistema de inventarios que garantice la rotación de la mercancía, generalmente bajo la metodología FIFO. (Quintero, 2015) (Calderón, 2015)

### 7.3.2. LOGÍSTICA INTERNA

#### Pre-mezclado:

Las entradas de este proceso son: plan maestro de producción, caliza, correctivos, ficha técnica de productos, energía y agua (dependiendo del tipo de proceso), como se muestra en la Ilustración 7.

Este proceso inicia con la pre-homogenización del material calizo que se realiza en silos con sistemas de homogenización o en patios con equipos giratorios como se puede ver en la Tabla 16, asegurando su uniformidad. Acto seguido, se determina el tipo de cemento que se fabricará según el plan maestro de producción y de acuerdo con la ficha técnica del producto, se establece la composición exacta de la mezcla según el producto final. Con esta información se realiza un proceso de dosificación de las materias primas agregando correctivos minerales como óxidos de hierro, sílice y aluminio. Si el almacenamiento se hizo con *tripper* el pre-homogenizado ya se llevó a cabo y solo se requiere recuperar el material y agregarle los correctivos. Estos correctivos se agregan a partir de materiales arcillosos, por ejemplo bauxita y caolín, como se expuso en el capítulo de proveedores. De aquí en adelante los procesos difieren dependiendo del tipo de fabricación que puede ser: seco o húmedo. (Florez, 2015) (Quintero, 2015) (Calderón, 2015)

Si el proceso de producción es un proceso seco, se utilizan tolvas con balanzas para hacer la dosificación o maquinas *tripper* que recuperan la materia prima. La mezcla resultante es llamada mezcla pura. Si por el contrario el proceso es húmedo, la dosificación de todos los compuestos incluye la adición agua a la mezcla para conformar una pasta que pueda ser transportada por tubería al proceso de molienda. Esta pasta se conoce como lechada y contiene aproximadamente 35% de agua. El objetivo de la dosificación es controlar el límite de saturación de cal (LSC), buscando tener unas características químicas mínimas al final del proceso de molienda. El control y seguimiento de la eficiencia de este proceso se hace a través de indicadores de consumo de materias primas y energía. (Florez, 2015) (Campos Avella, 2007) (Universidad de Oviedo, 2010)

### Molienda de crudo:

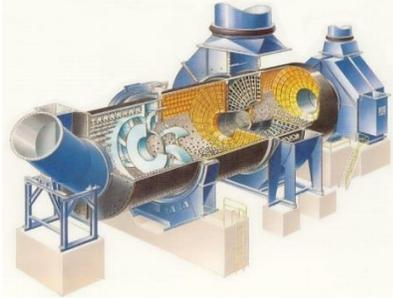
Las entradas de este proceso son: plan maestro de producción, mezcla pura o lechada, gases calientes y energía, como se muestra en la Ilustración 7.

Existen dos tipos de molinos, el molino horizontal de bolas y el molino vertical de rodillos, como se muestran en la Tabla 17. El primero cuenta con dos cavidades interiores con esferas metálicas de diferentes diámetros que, por acción de la rotación del molino, chocan entre sí triturando los materiales. En la primera cavidad las esferas de mayor tamaño realizan la pre-molienda y en la segunda cavidad se lleva a cabo la refinación con esferas de diversos tamaños, de acuerdo a la finura deseada. La eficiencia energética de este molino es baja, puesto que el 75% de la energía se pierde en ruido o fricción y solo el 25% produce molienda efectiva. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015)

Por otro lado, el molino vertical contiene un plato de molienda plano, rodillos moledores y un separador dinámico integrado a su estructura. Este molino solo puede ser utilizado en procesos productivos secos, mientras que el de bolas puede ser utilizado también en procesos húmedos. Cuando el proceso productivo es seco, la mezcla pura se transporta al molino donde se moltura el material y se evapora la humedad remanente del mismo utilizando gases calientes derivados del funcionamiento del horno. La humedad del material debe ser eliminada en su totalidad, pues esta impone limitaciones técnicas para la molienda. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015) (Quintero, 2015)

Los sistemas de molienda pueden ser circuitos abiertos o cerrados. Si el sistema de molienda tiene un esquema de circuito abierto, todo el material que sale del molino lo hace en forma de polvo fino según especificación técnica. Si el sistema tiene un esquema de circuito cerrado, se establecen dos flujos: en uno se encuentran los elementos gruesos que deben ser reprocesados y en el otro el polvo fino que cumple con las especificaciones de granulometría. (Campos Avella, 2007) El polvo fino que deja el sistema de molienda, llamado harina cruda, es llevado a unos silos de mezclado en seco, como el que se ve en la Tabla 19, en donde se realiza una homogenización. Estos silos cuentan con sistemas de fluidificación que envían flujos de aire a través de la harina, provocando que el material se mezcle. (Florez, 2015) (Calderón, 2015) (Quintero, 2015)

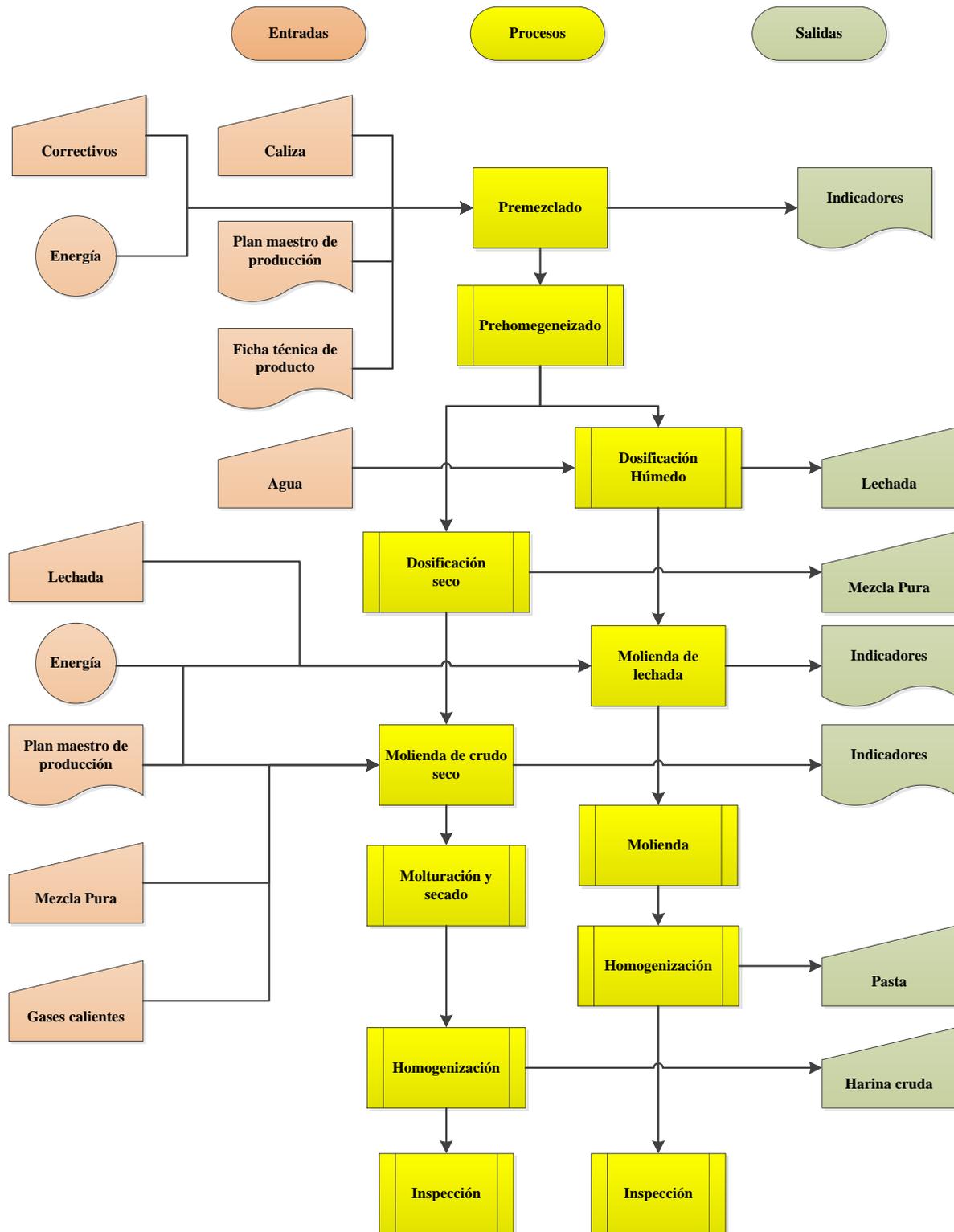
Tabla 17  
 Molino horizontal de bolas y molino vertical de rodillos

Molino de bolas	Molino vertical
	
	

Fuente: Trituradoras y Molinos. (18 de Mayo de 2012). Venta de molino de bolas en Perú / Liming. (2013). Debemos prestar atención a los asuntos de hornos rotativos de instalación / Gebr. Pfeiffer. (2015). Experiencia operativa con el molino vertical de rodillos MVR de Pfeiffer y MultiDrive®

Cuando el proceso productivo es húmedo, la lechada pasa directamente al molino a través de tuberías y la pasta resultante es llevada a una balsa, como la que se ve en la Tabla 18, en la que se hace un proceso de homogenización. Al resultado final del proceso, independientemente de si es seco o húmedo, se le realiza un muestreo y dichas muestras se someten a análisis químico en el laboratorio para garantizar la calidad y uniformidad en el producto final. Por último, el control y seguimiento de la eficiencia de este proceso se hace a través de indicadores de consumo de energía y tiempo. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015)

Ilustración 7  
Diagrama de entradas y salidas premezclado y molienda.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Balsa para proceso húmedo y silo con torre pre-calentadora para proceso seco



Fuente: Talleres Alquézar S.A. (2014). Clarificadores fijos / Siemens AG. (2015). Continue saving electrical energy in cement plants

#### Acondicionamiento para entrada al horno:

Las entradas de este proceso son: plan maestro de producción, harina cruda o pasta, agua, gases calientes y energía, como se observa en la Ilustración 8.

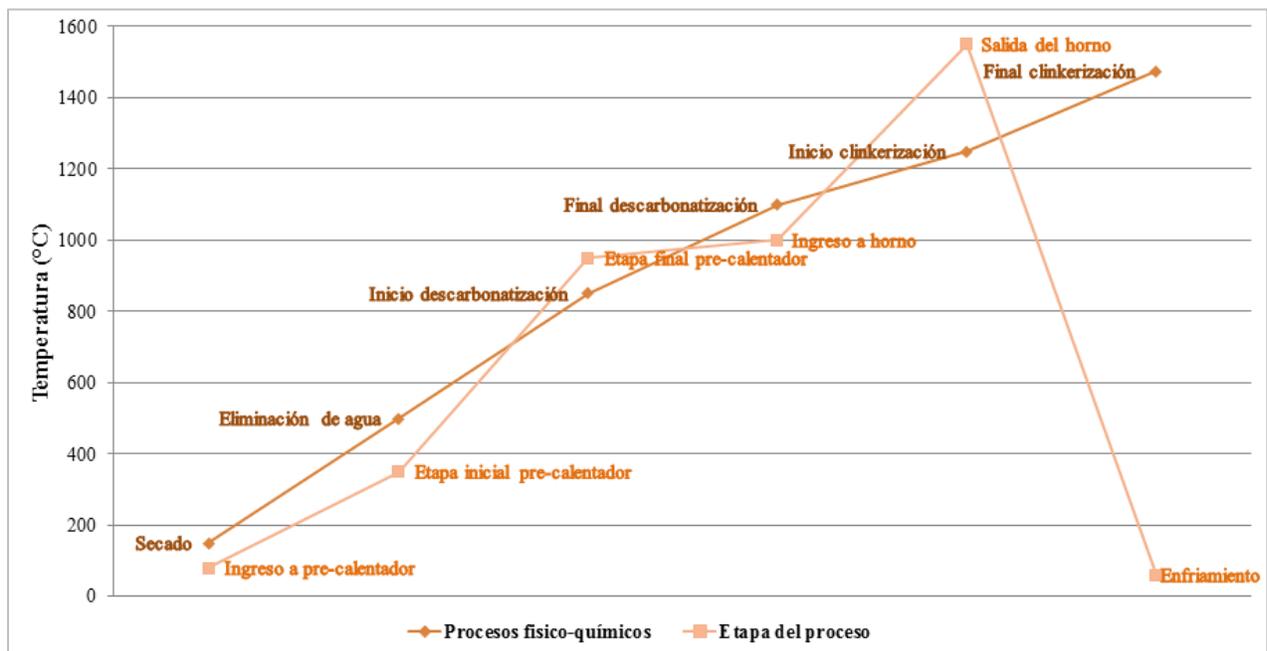
En este proceso se desarrollaron diferentes tecnologías impulsadas por la ineficiencia energética que implicaba el proceso húmedo. De allí se desprenden dos tipos de procesos intermedios, semi-seco y semi-húmedo, los cuales se aplicaron antes de la invención del proceso seco. Para este último, la harina cruda es llevada a una tolva de dosificación y de allí a un elevador, neumático o de cangilones, que alimenta una torre pre-calentadora, como se muestra en la Tabla 18. Esta está compuesta por un sistema de ciclones, que separa los materiales finos de los gases calientes provenientes del horno. De esta manera, la harina fría se alimenta en la torre y a medida que desciende los gases la calientan en un proceso de intercambio térmico. Estos gases que han perdido calor serán posteriormente utilizados en los procesos de molienda. (Quintero, 2015) (Florez, 2015) (Universidad de Oviedo, 2010)

La temperatura de la harina antes de ingresar al pre-calentador es de 80 °C y su humedad promedio es inferior al 1%. Durante la primera etapa el material alcanza una temperatura aproximada de 350 °C y esta se incrementa a medida que pasa por los siguientes ciclones hasta

alcanzar una temperatura mínima de 950 °C, como se observa en Gráfico 5. Algunas empresas cuentan con un equipo adicional llamado pre-calcinador, el cual extrae rápidamente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que representa el 40% del peso del material calizo, obteniendo el óxido de calcio (CaO), que es el material que reacciona con los demás óxidos para constituir el *clinker*. (Florez, 2015) (Campos Avella, 2007)

En el proceso semi-seco, después de la homogenización, la harina cruda es llevada a un plato granulador. En este se le adiciona agua hasta que su humedad es del 10 al 15% y la mezcla se vuelve nódulos. Estos nódulos pasan a un horno de Lepol que cuenta con una parrilla donde se secan, pre-calientan y sufren procesos parciales de calcinación y descarbonatación antes de ser trasladados al horno. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015) (Universidad de Oviedo, 2010)

Gráfico 5  
Procesos físico-químicos y temperaturas de la clinkerización



Fuente: elaboración propia basado en Campos Avella, J. C. (18 de Julio de 2007). Ahorro de energía en la industria del cemento. Barranquilla: Colciencias.

En el caso del proceso semi-húmedo, la pasta debe ser espesada hasta que contenga un 20% de humedad y es llevada a una etapa de filtrado. Esta consiste en una serie de filtros prensa que eliminan el agua y convierten la pasta en una torta. Esta torta es posteriormente granulada por

extrusión y los *pellets* resultantes son puestos en parrillas donde se secan con gases calientes, generalmente derivados del funcionamiento del horno. Terminado el proceso de secado el material es llevado a la torre de pre-calentamiento produciendo un crudo seco que posteriormente será alimentado en el horno. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015) (Universidad de Oviedo, 2010)

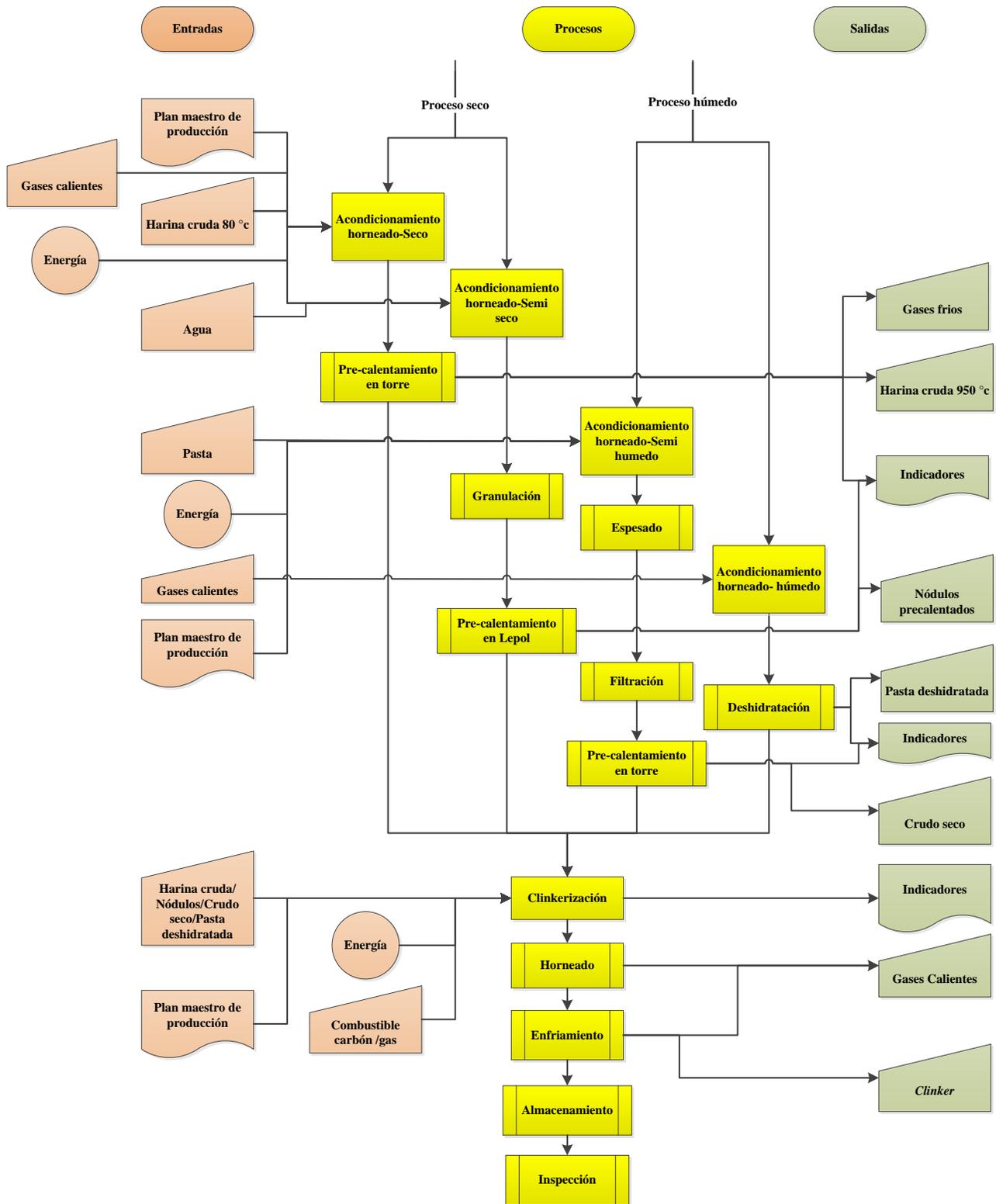
Cuando el proceso es húmedo, la pasta, que tiene una humedad del 30 al 40%, requiere una deshidratación previa. Esta deshidratación generalmente se realiza en una sección adicional del horno por lo que los hornos giratorios tienden a ser más largos en el proceso húmedo. En este proceso se utilizan indicadores de seguimiento y control de consumo de energía y agua. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015) (Universidad de Oviedo, 2010)

#### Clinkerización:

La entradas de este proceso son: plan maestro de producción, combustibles, energía y, dependiendo del tipo de proceso, harina cruda a 950 °C, nódulos pre-calentados, crudo seco o pasta deshidratada, como se observa en la Ilustración 8.

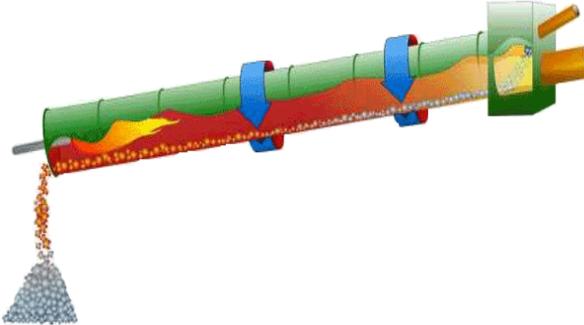
Sin importar cuál sea el tipo de proceso que se haya seguido hasta el momento, el material debe pasar por una etapa de horneado, la única diferencia es que el horno del proceso húmedo es mucho más largo que el del proceso seco, como se explicó en el proceso anterior. El material debe ingresar al horno giratorio a una temperatura aproximada de 1000 °C y a una tasa controlada. Las paredes interiores del horno están cubiertas por ladrillos de material refractante que cumplen el doble propósito de mantener la temperatura constante en el interior y proteger las paredes evitando que estas se calienten demasiado, se agrieten o sufran otro tipo de daños. El horno giratorio se encuentra inclinado y rota a una velocidad aproximada de 2 revoluciones por minuto. Gracias a estas dos condiciones, el material avanza en su interior en dirección a la llama que arde a 1700 °C al final de la cavidad, como se puede ver en la Tabla 19. Esta llama es producida por un combustible que puede ser gas, carbón, *fuel oil*, entre otros. (Campos Avella, 2007) (Quintero, 2015)

Ilustración 8  
 Diagrama de entradas y salidas acondicionamiento para entrada al horno y clinkerización



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19  
Hornos rotatorios para clinkerización

Funcionamiento del horno	Llama del horno
	
Horno para proceso húmedo	Horno para proceso seco
	

Fuente: Grupo Cementos Portland Valderrivas. (2010). Productos - En el Mundo - EEUU - Reciclaje - Información Adicional / Yepes, V. (16 de Marzo de 2015). ¿Cuánto CO2 se emite cuando empleamos hormigón? / Ecoprocesamiento. (2014). Servicios / Holcim Costa Rica. (2015). Sección del Accionista

En algunas plantas se llevan a cabo dos procesos paralelos al horneado: el co-procesamiento y la co-generación. El co-procesamiento consiste en agregar al material combustible residuos de otras industrias con el fin de incinerarlos en el piroproceso. Entre los residuos se encuentran: aceite usado de vehículos, llantas, cascarilla de arroz, productos químicos vencidos y algunos materiales tóxicos y orgánicos cuya desintegración se asegura gracias a las altas temperaturas que se generan en el horno. Por otro lado, la co-generación consiste en utilizar los gases calientes, que no se envían a la torre pre-calentadora o a los molinos, para generar energía eléctrica. (Florez, 2015)

Durante el horneado, el material sufre una fase endotérmica y otra exotérmica. Durante la endotérmica absorbe el calor y los materiales se funden creando una matriz líquida que alberga los componentes esenciales del clinker. Al pasar a la fase exotérmica, el material emana calor y se forman los cristales que dan al cemento la resistencia, estabilidad, durabilidad y fraguado. Este proceso de cristalización, que se da a los 1500 °C, se conoce como clinkerización cuyo resultado son gránulos irregulares. Finalizado el proceso de horneado, el *clinker* debe someterse inmediatamente a un enfriamiento utilizando enfriadores de parrilla con ventiladores que emiten grandes volúmenes de aire. Este sistema lleva al clinker a una temperatura de entre 60 y 100 °C; el calor recuperado en esta actividad es devuelto al horno. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015)

En algunas ocasiones, los gránulos de clinker que dejan el enfriador son demasiado grandes, por lo que antes de ser almacenados, deben ingresarse a una trituradora que reduce su tamaño hasta que alcanzan un diámetro máximo de 2 cm. Anteriormente, el enfriamiento se realizaba a través de enfriadores de tipo satélite (también llamados planetarios) adheridos al horno. Sin embargo, este proceso era energéticamente ineficiente y tomaba mucho tiempo, lo que afectaba la resistencia temprana del cemento. Adicionalmente, cuando el enfriamiento toma demasiado, provoca que el tiempo de fraguado del cemento sea muy lento y esto no puede corregirse con adición de yeso en la fase de molienda final. (Campos Avella, 2007) (Florez, 2015)

Finalmente, el *clinker* frío es llevado por bandas transportadoras hasta silos de almacenamiento o domos de *clinker*. Algunas empresas importan el *clinker* o lo trasladan desde otras instalaciones por lo que el material pasa directamente a la infraestructura de almacenamiento. Al *clinker* se le realiza un muestreo y dichas muestras se someten a análisis químico en el laboratorio para garantizar la calidad y uniformidad en el producto final. Adicionalmente, para el control y seguimiento de este proceso se utilizan indicadores de tiempo y consumo de energía eléctrica y materiales combustibles. (Calderón, 2015) (Silva, 2015)

#### Molienda de cemento:

Las entradas de este proceso son: plan maestro de producción, gases calientes, energía, *clinker*, yeso y adiciones cementantes y no cementantes, como se muestra en la Ilustración 9.

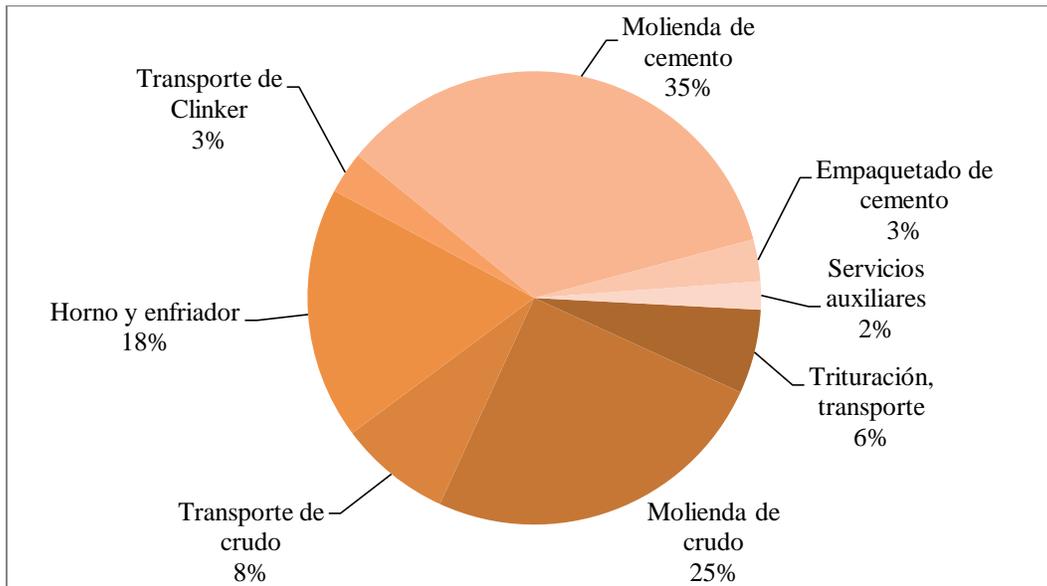
El proceso inicia con la dosificación del *clinker*, el yeso y los aditivos a través de un sistema de tolvas con balanzas y bandas transportadoras. Las proporciones en que se añaden estos materiales dependen del tipo de cemento que se va a fabricar según el plan maestro de producción y las correcciones que sean necesarias. El yeso es el aditivo más importante en este proceso pues afecta directamente las propiedades del cemento en cuanto a contracción, desarrollo de resistencia y velocidad de fraguado. Entre los aditivos cementantes utilizados en la industria se encuentran: las cenizas volantes, puzolanas, escorias, caliza de alta, humo de sílice y arcilla calcinada. Actualmente, los cementos tienen en promedio 65% de *clinker* y 35% de aditivos. (Quintero, 2015) (Diago, 2015) (Florez, 2015)

El *clinker* y los aditivos son llevados por medio de bandas transportadoras a un molino, que convertirá el material en un polvo fino, cumpliendo con los estándares establecidos. Al igual que en el proceso de molienda de crudo, este molino puede ser horizontal de bolas o vertical de rodillos y el sistema puede ser abierto o cerrado. El calor provocado por la fricción, sumado al calor residual del *clinker* y los gases calientes del horno eliminan la humedad contenida en los aditivos. El diámetro promedio de las partículas resultantes es de 45  $\mu\text{m}$ , aunque algunas partículas incluso quedan reducidas a 3  $\mu\text{m}$ . (Quintero, 2015) (Campos Avella, 2007)

Los molinos de *clinker*, generalmente tienen un revestimiento más resistente que los de crudo, puesto que el *clinker* es mucho más abrasivo y la presión que debe utilizarse para molturar el material es mayor. En la producción de cemento, la molienda final es el proceso más intensivo en energía. Este puede llegar a consumir el 40% del total de la energía suministrada a la planta, como se observa en el Gráfico 6. Al cemento que sale del molino se le realizan pruebas físico-químicas en el laboratorio para garantizar la uniformidad y calidad del producto. (Florez, 2015) (Campos Avella, 2007)

Finalizado el proceso de molienda, el cemento es llevado a los silos de almacenamiento a través de un sistema de transporte neumático. Estos silos, al igual que los de harina cruda, cuentan con fluidificadores que permiten realizar la homogenización del material. Al igual que los procesos anteriores, este se controla a través de indicadores de consumos de aditivos y *clinker*, consumo energético y tiempo. (Florez, 2015)

Gráfico 6  
Consumo energético fabricación de cemento por proceso



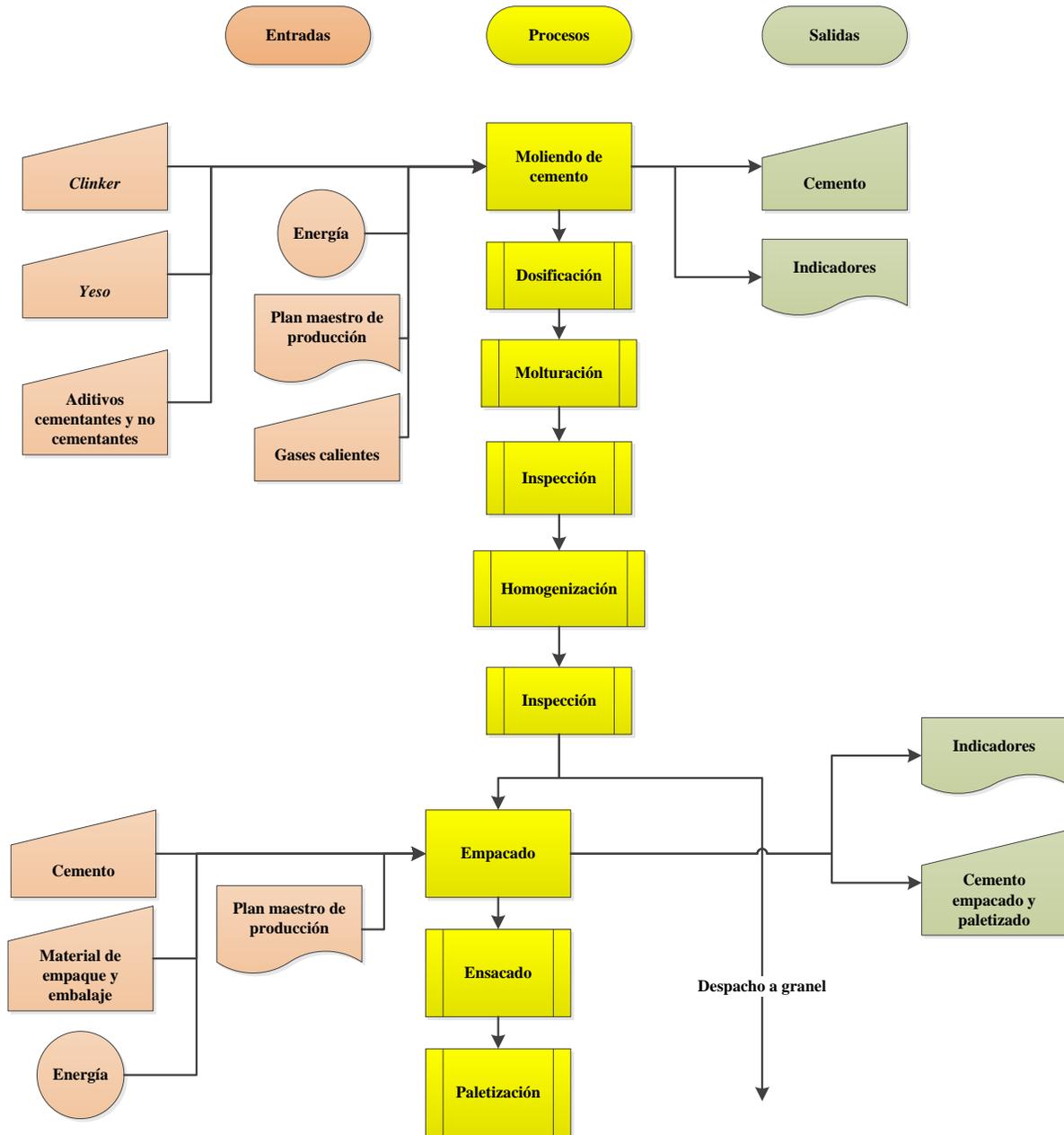
Fuente: Universidad de Oviedo. (2010). Tecnología de fabricación del cemento: Introducción. Oviedo: Universidad de Oviedo.

### Empacado:

Las entradas de este proceso son: plan maestro de producción, cemento, energía y material de empaque y embalaje, como se muestra en la Ilustración 9.

Este proceso inicia con la revisión del plan maestro de producción con el fin de decidir cuánto cemento se empaquetará y verificar las especificaciones de empaque en cuanto a dimensiones y rótulos. El material a empaquetar es extraído de los silos de almacenamiento a través de tuberías y entra a una máquina empacadora semiautomática o totalmente automatizada. En el primer caso, el material llega a un equipo rotatorio con boquillas en el que los operarios insertan los sacos preparados para su llenado. Esta máquina está dotada de un sistema automático de graduación de peso que garantiza que cada saco es llenado con la cantidad de producto adecuada. (Diago, 2015) (Calderón, 2015)

Ilustración 9  
Diagrama de entradas y salidas molienda de cemento y empaqueo



Fuente: Elaboración propia

Cada cierto número de sacos se toma uno para ser pesado como muestra y verificar que cumpla con el peso establecido. Posteriormente, los sacos se trasladan a través de bandas

transportadoras hasta la zona de paletización donde unos operarios consolidan la unidad de carga. Debido a que son sacos, las sabanas de la unidad de carga deben ir troqueladas para asegurar que el *pallet* no se desarme. Adicionalmente, en algunas empresas la unidad de carga se recubre con una película plástica o *stretch film* que cumple la doble función de protección y contención de la carga. (Florez, 2015) (Diago, 2015) (Calderón, 2015)

Tabla 20  
Maquinaria proceso de empaclado

Maquina ensacadora	Equipo compresor
	
<b>Maquina paletizadora</b>	
	

Fuente: ARPL Tecnología Industrial S.A. (2008). Ampliación de la capacidad de envases y despacho líneas n° 5 y n° 6. / Argos. (7 de Julio de 2014). In Argos, the future starts today - 3. Increase in packing and dispatch capacity

Si el proceso es totalmente automático, una máquina toma el empaque de la pila y lo posiciona directamente en la boquilla de la máquina ensacadora. Esta máquina se auto calibra y llena los sacos de acuerdo al peso establecido para posteriormente pesar cada uno de ellos a alta velocidad. Terminado el ensacado, los paquetes son llevados a un sistema de compresión ligera para extraer el exceso de aire y darle forma al saco. Posteriormente, los sacos pasan a un equipo paletizador que de manera automática realiza el proceso de troquelado y consolidación de la

unidad de carga como se ve en la Tabla 20; un ejemplo de este sistema es el Ventomatic. Debido a la precisión del armado, la película plástica no es necesaria, aunque puede ser utilizada cuando la distribución implica recorrer largas distancias. Después de que el *pallet* está armado, es llevado en montacargas a la zona de almacenamiento de producto terminado o a la zona de despachos. (Silva, 2015) (Calderón, 2015) (Florez, 2015)

Algunas cementeras cuentan con una presentación adicional de cemento empaçado llamada big bag. Esta presentación no es muy utilizada en el país debido a la dificultad que presenta manipular sacos de una o dos toneladas. Para este empaque, las empresas cuentan con máquinas ensacadoras de tan solo dos boquillas que realizan el llenado de este tipo especial de empaque. Los big bags son sacos de cintas plásticas tejidas y forradas con una lámina de plástico que pueden contener una o dos toneladas de cemento. Normalmente tienen forma cúbica con tirantes en los extremos que permiten su manipulación. Estos empaques pueden ser desechables o rellenables. (Labahn, 1985)

Finalmente, sin importar el sistema que se utilice para el proceso de empaçado, deben realizarse análisis de laboratorio al cemento antes de ser empaçado y existen indicadores de tiempo y calidad. (Florez, 2015)

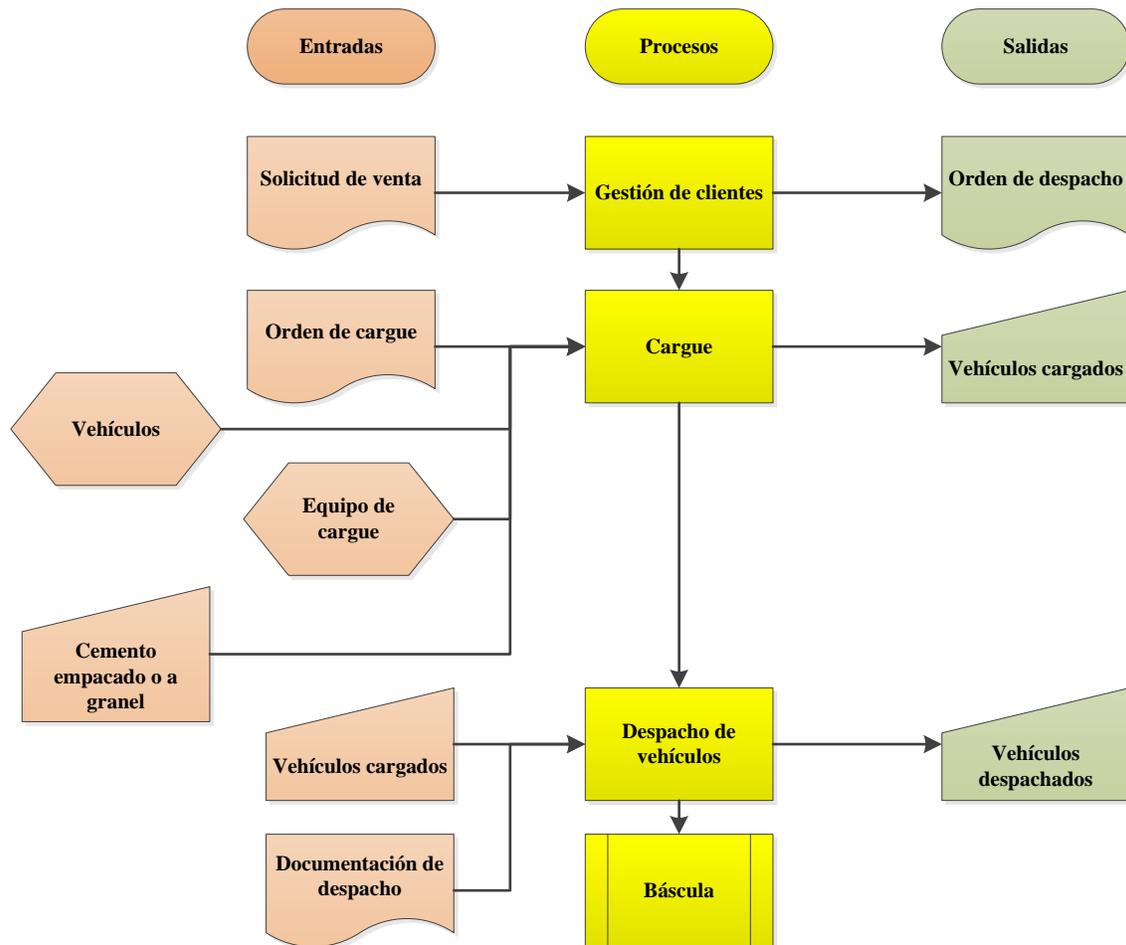
### 7.3.3. LOGÍSTICA DE SALIDA

#### Gestión de clientes y cargue

Las entradas de este proceso son: cemento almacenado a granel o empaçado, solicitud de venta, orden de despacho, equipo de cargue y vehículos de carga.

### Ilustración 10

### Diagrama de entradas y salidas gestión de clientes, carga y despacho de vehículos



Fuente: Elaboración propia

Este proceso depende de la gestión comercial de la empresa. El departamento de ventas recibe una solicitud que incluye datos de cantidad, tiempo de entrega y ubicación de la misma. Se procede a realizar la negociación de entrega con el cliente de acuerdo a sus necesidades específicas y su prioridad. El proceso de carga inicia cuando, de acuerdo a la información previa, se emiten órdenes de despacho según la disponibilidad de producto que se tenga. Personal del departamento de logística consolida las órdenes de despacho para realizar la programación de carga, despacho y ruteo (cuando la flota es propia). El resultado de dicha programación es la emisión de órdenes de carga, las cuales se entregan a los conductores de los vehículos conforme

llegan a la plantan y presentan la documentación requerida para conductores y vehículos; posteriormente se realiza el enturnamiento de cargue. (Quintero, 2015) (Serna, 2014)

Cuando se lleva a cabo cargue de cemento empacado, la orden de cargue contiene el tipo de cemento y la cantidad de *pallets* a cargar en cada vehículo. El equipo requerido para esta operación generalmente incluye un montacargas y una plataforma para carpado del vehículo con sus respectivas líneas de vida, como se muestra en la Tabla 21. Por otro lado, cuando se realiza cargue de cemento a granel, la orden de cargue contiene el tipo de cemento a despachar y las toneladas que deben introducirse en cada compartimiento. (Quintero, 2015) (Diago, 2015)

Tabla 21  
Equipos para cargue de cemento

Cargue cemento empacado	Estructura de cargue a granel
	
Plataforma para carpado	
	

Zapata, S. (20 de Mayo de 2014). Logística de cementos Argos / Osorio, J. D. (22 de Marzo de 2015). Seguridad industrial en la entrega del cemento y concreto / DCL: Dust Control and Loading Systems. (2010). Caso práctico: Automatización de carga a granel - DCL

El cemento que se encuentra fluidificado en el silo por la acción del aire que le ha sido inyectado, desciende al camión por efecto de la gravedad. Las instalaciones de carga de cemento

a granel pueden ser fijas o estacionarias e incluyen una manguera de doble fuelle o tubo telescópico de acero, una tobera cónica para la entrada en la boca de carga del camión cisterna, filtros recolectores de polvo y una báscula para el control del material cargado. (Labahn, 1985) (Claros, 2013)

### Despacho de vehículos

Las entradas de este proceso son: vehículos cargados y documentación de despacho.

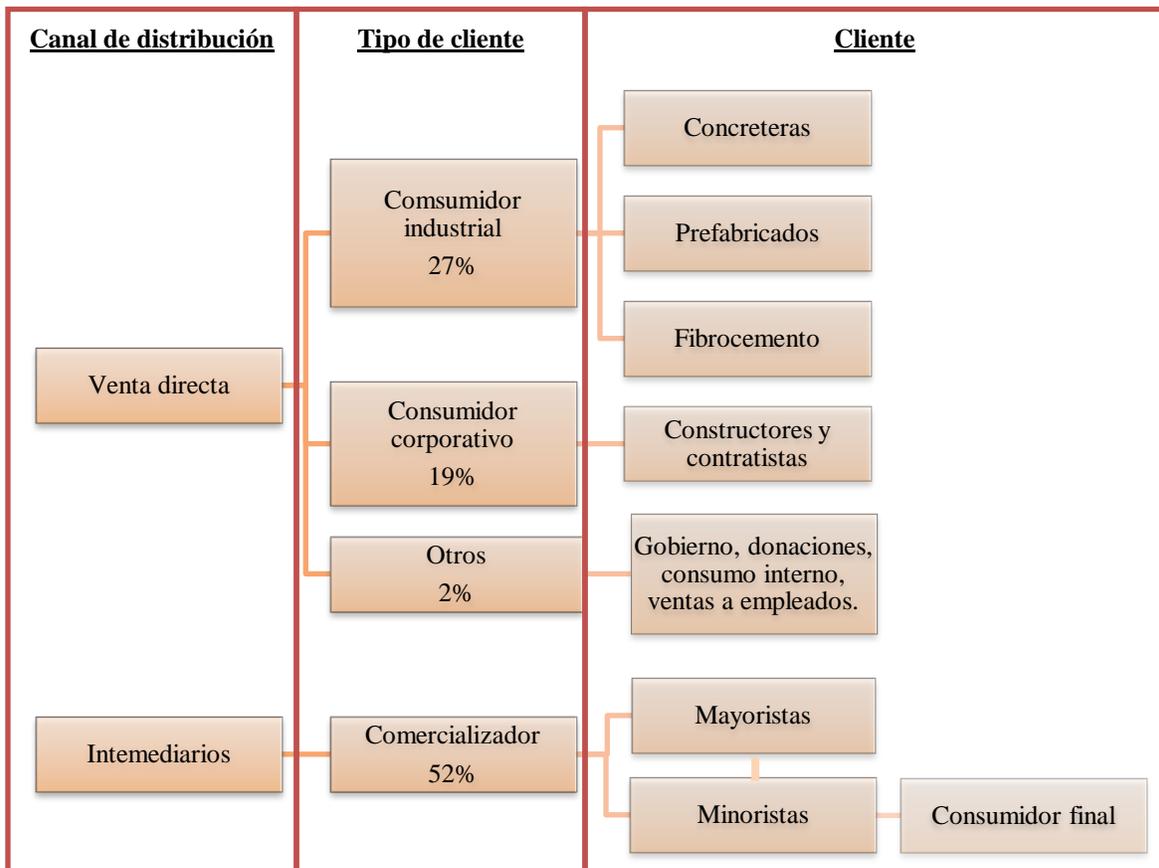
Cuando el vehículo ha sido cargado, se procede a la entrega de la documentación correspondiente al conductor. Esta documentación incluye: la remesa, la ficha técnica y la hoja de seguridad (si la mercancía la requiere) y la factura emitida por la cementera que certifica la salida de la mercancía del sistema de inventarios. (Ministerio de transporte, 2013). El camión pasa por un último control de pesaje en la portería de la planta donde se verifica también que el conductor tiene en su poder toda la documentación pertinente para realizar adecuadamente la distribución. (Calderón, 2015) (Diago, 2015)

Los despachos pueden ser directamente al cliente o a centros de distribución. Los centros de distribución de las cementeras están ubicados estratégicamente para la logística de entrega en las principales regiones de consumo. Estos centros funcionan como nodos logísticos, facilitando despachos de menor tamaño; adicionalmente, cuentan con la infraestructura para el almacenamiento del cemento en grandes cantidades tanto en silos como en sacos. (Calderón, 2015) (Diago, 2015)

## 8. CLIENTES

El cemento se vende principalmente a través de dos canales de distribución, como se muestra en la Ilustración 11: la venta directa y la venta a través de intermediarios. En el canal de venta directa se manejan dos tipos de clientes. En primer lugar, los consumidores corporativos que representan el 19% del total de las ventas y están conformados por empresas constructoras y contratistas. (DANE, 2015)

Ilustración 11  
Canales de distribución del cemento

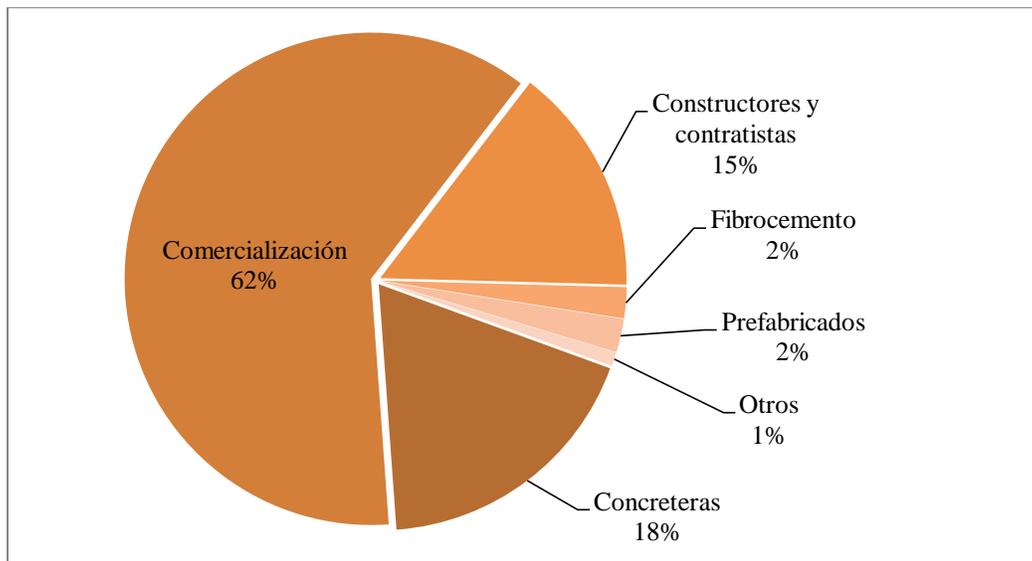


Fuente: Elaboración propia basada en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

En segundo lugar, los consumidores industriales que representan el 27% de las ventas totales y lo conforman empresas concreteras, de prefabricados y de fibrocemento. En el canal de venta directa también se maneja otro tipo de ventas como ventas al gobierno, donaciones, ventas a empleados y consumo interno. Sin embargo, estas ventas solo representan el 2% del total. (DANE, 2015)

Las ventas del canal de intermediarios que se hacen a comercializadores representan el 52% del total de las ventas, teniendo la mayor importancia para las empresas cementeras. Este canal está compuesto por empresas mayoristas o grandes compradores y empresas minoristas como grandes superficies y ferreterías de barrio. La mayoría de las veces los mayoristas distribuyen el producto a los minoristas y estos a su vez lo venden al consumidor final. No obstante, a los clientes minoristas más importantes, generalmente las grandes superficies, se les vende el producto directamente sin la intervención de mayoristas. (DANE, 2015) (Quintero, 2015)

Gráfico 7  
Participación de los despachos por canal 2010

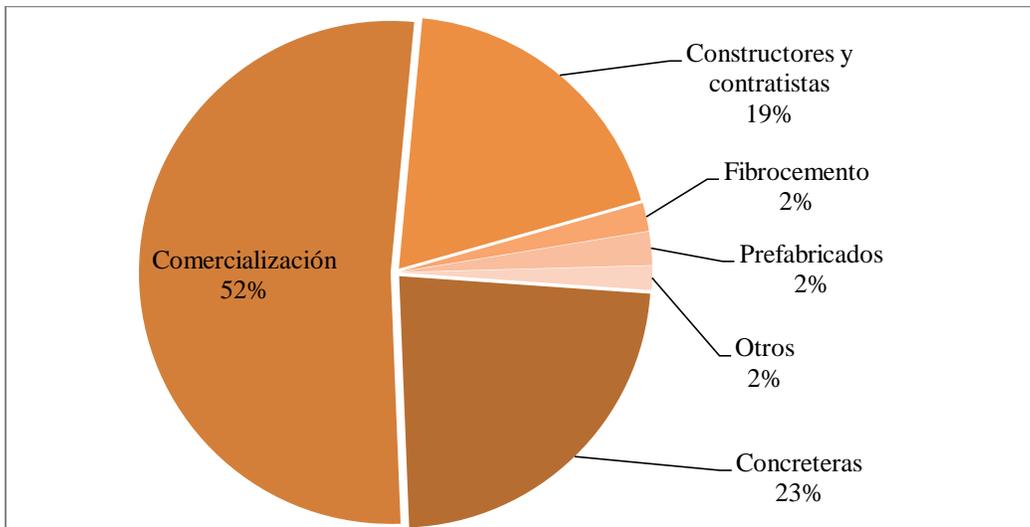


Fuente: Elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

En el sector cementero colombiano, la dependencia del canal de comercialización ha sido muy marcada. En el año 2010, este canal representaba el 62% del total de las ventas, mientras

que otros segmentos como las concreteras y los constructores tan solo representaban el 18% y 15% respectivamente, como se aprecia en el Gráfico 7. Sin embargo, las cementeras han buscado disminuir la dependencia de este canal, dándole mayor importancia a las concreteras y constructoras debido al auge de vivienda e infraestructura que el país ha experimentado en los últimos años (Vega, 2015). Para el año 2014, el canal de comercialización disminuyó al 52%, mientras que los constructores y concreteras aumentaron al 19% y 23% respectivamente, como se observa en el Gráfico 8.

Gráfico 8  
Participación de los despachos por canal 2014



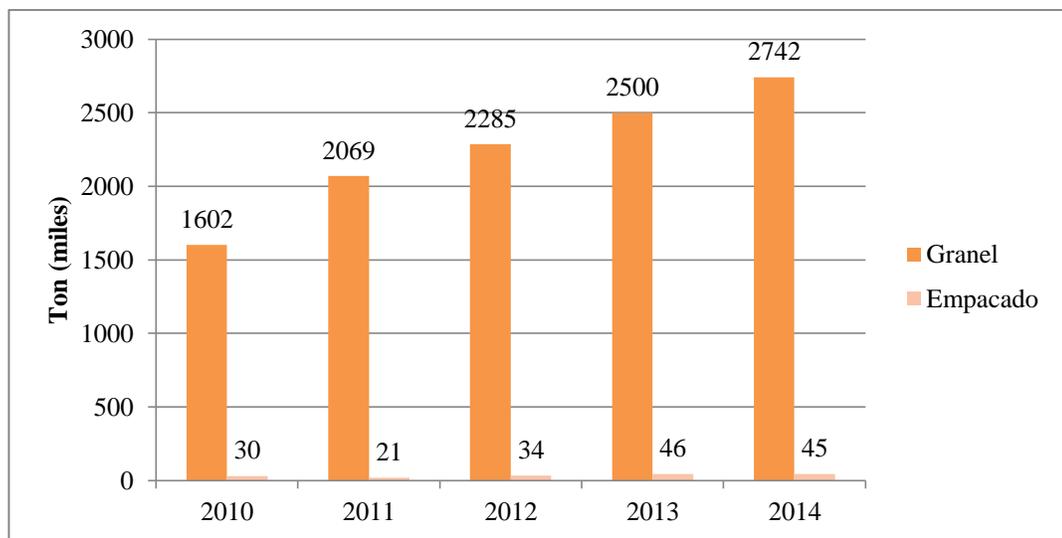
Fuente: Elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

## 8.1. CONCRETERAS

Para la producción de concreto se requiere llevar a cabo una mezcla de elementos activos e inertes. Los elementos activos son el agua y el cemento. Este último es la materia prima más importante de la mezcla, pues contiene los ingredientes activos que en contacto con el agua reaccionan, endureciendo el material después de cierto tiempo y formando una piedra artificial. Los elementos inertes de la mezcla son la arena y la grava cuya función es formar el esqueleto de la mezcla, ocupando un gran porcentaje del volumen final del producto. (Aceros Arequipa, 2014)

Entre las empresas de concreto se pueden identificar dos grupos. En primer lugar, las empresas de concreto de las cementeras; las cuales han surgido en la búsqueda de un mayor control de la cadena de suministros a partir de integración vertical (Quintero, 2015) (Florez, 2015). En este grupo resalta cementos Argos con 54 plantas de concreto (Cementos Argos S.A., 2013), Cemex Colombia con 44 plantas fijas de concreto (Cemex LatAm Holdings, 2015) y Holcim con 11 plantas de concreto (Holcim Colombia S.A., 2010). Estas plantas se encuentran distribuidas en diferentes zonas a nivel nacional, extendiendo la cobertura a otros territorios del país. El segundo grupo de concreteras son las empresas independientes de concreto, entre las que se encuentran las siguientes: Colconcretos S.A., Concretos del Tolima S.A., Prevesa, Grupo Concreta y Triturados y Concretos Ltda., entre otros. (Directorio Camacol, 2009)

Gráfico 9  
Despachos a concreteras por tipo de empaque 2010 – 2014



Fuente: Elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

La cantidad total de cemento despachado a concreteras para el año 2014 fue 2.786.711 Ton; casi la totalidad de estos despachos se hicieron a granel. El número de toneladas despachadas a este segmento ha tenido una fuerte evolución, ya que para el año 2010 se despacharon 1.632.073 toneladas de cemento, es decir que en los últimos cuatro años se ha presentado un incremento del 71% aproximadamente, como se puede ver en el Gráfico 9.

Los procesos de logística de entrada de cemento en las empresas de concreto son el descargue y almacenamiento de cemento a granel. El cemento llega en camiones tanque o cisterna con capacidad entre 18 y 35 toneladas. El vehículo cuenta con un compresor para llevar a cabo el descargue del material, el cual mezcla el cemento con aire en cantidades controladas por el conductor, llevando el material al silo de almacenamiento de la concretera. (Claros, 2013)

Para el descargue, los vehículos ingresan en una zona de acceso, la cual cuenta con poca pendiente y una base firme que soporta el peso. Esta zona se mantiene libre de materiales con el fin de facilitar la operación del vehículo. La distancia entre el silo y la zona de estacionamiento es corta, no mayor a 5 metros, debido a la longitud de las mangueras de conexión, como se muestra en la Tabla 22. Las compuertas y válvulas del vehículo cisterna cuentan con sellos de seguridad, los cuales deben ser revisados antes del descargue, al igual que la información diligenciada en la remisión del transporte. (Claros, 2013)

Tabla 22  
Descargue vehículos de cemento a granel



Fuente: Claros, E. (Octubre de 2013). Transporte de cemento a granel

Los silos de almacenamiento cuentan con ductos de desfogue y dispositivos de ventilación, los cuales deben mantenerse despejados para prevenir daños por presurización en el momento de llenado. Así mismo, los silos cuentan con sistemas de filtros para disminuir la emisión de material particulado a la atmósfera. Para realizar el almacenamiento, se debe asegurar que los silos se encuentran cerrados y sin perforaciones. El tiempo máximo de almacenamiento en silo

para el cemento es entre 4 y 6 semanas dependiendo de la humedad del ambiente. Con el fin de evitar encostramiento de material, los silos son vaciados y limpiados cada tres meses y se les practica mantenimiento completo cada 6 meses. (Claros, 2013)

## 8.2. COMERCIALIZADORAS

Más de la mitad de las ventas de cemento se hace a través de canal de intermediarios. Las empresas cementeras cuentan con clientes mayoristas de gran tamaño quienes son los encargados de vender el cemento a las pequeñas empresas que venden el producto al por menor al cliente final. Este sistema garantiza un beneficio para las cementeras, que pueden vender su producto en grandes volúmenes, así como para los mayoristas, que consolidan muchos despachos bajo un mismo transporte, disminuyendo los costos. Generalmente no existe un contrato entre los clientes mayoristas y las cementeras para vender exclusivamente una marca de cemento. No obstante, las cementeras monitorean las compras y ventas de sus mayoristas y les entregan beneficios especiales con el fin de fidelizarlos a la marca. (Quintero, 2015)

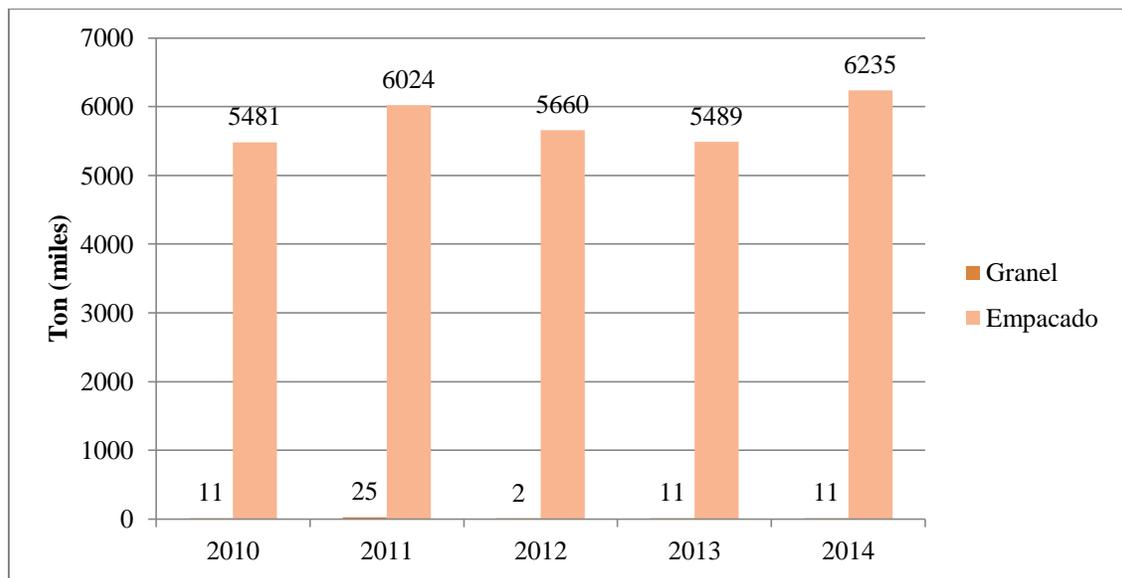
Las cementeras buscan que sus clientes mayoristas posean las siguientes características: en primer lugar, que sean empresas distribuidoras de gran tamaño y puedan atender adecuadamente los clientes pequeños. En segundo lugar, que tengan experiencia y conocimiento del funcionamiento del mercado. En tercer lugar, que no se enfoquen solamente en venta de cemento, sino que también comercialicen otro tipo de productos relacionados, agregando mayor dinamismo a la distribución. Finalmente, que el distribuidor cuente con infraestructura adecuada para llevar a cabo la operación, esto incluye como mínimo una bodega y camiones propios, así como un sistema de entregas. (Quintero, 2015)

En el caso de las grandes superficies, que son clientes con un gran volumen de compra, las cementeras entregan directamente el producto. El caso más destacado es Homecenter, quien en su unidad de negocio “Constructor” cuenta con productos relacionados específicamente con la construcción. Este modelo de negocio les permite vender el producto fácilmente tanto en

pequeñas cantidades como en grandes volúmenes, ya que cuentan con la infraestructura para llevar a cabo despachos de grandes dimensiones. (Servicio al cliente Homecenter, 2014)

Para el año 2014 se despachó a las comercializadoras 6.246.257 Ton de cemento; casi la totalidad de estos despachos se hicieron de cemento empacado. La cantidad de despachos para este segmento se ha mantenido alrededor de 6.000.000 de toneladas. Para el año 2010 se despacharon 5.491.568 toneladas de cemento, es decir que comparada esta información con la del año 2014, se evidencia un incremento de aproximadamente 14%, como se muestra en el Grafico 10.

Gráfico 10  
Despachos a comercializadoras por tipo de empaque 2010 - 2014



Fuente: elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

Los procesos de logística de entrada en las empresas comercializadoras son el descargue y almacenamiento de cemento ensacado. El cemento llega en pallets, en camiones con capacidad desde 5 hasta 35 toneladas, como se muestra en la Tabla 23. El descargue de cemento se puede hacer con montacargas o de forma manual. Si el descargue es con montacargas debe revisarse el estado de las cuchillas para evitar roturas de los sacos. Cuando el descargue es manual, se deben tener en cuenta la adecuada manipulación de los sacos por parte de los operarios con el fin de

evitar lesiones de cintura o espalda o roturas del producto. Las empresas recomiendan que se asignen 2 personas para levantar un saco de 50 Kg. (Holcim Colombia, 2015)

El descargue se realiza generalmente en una bodega techada alejada de ambientes húmedos, ya que si el cemento se humedece debe ser utilizado inmediatamente. El piso de la bodega debe tener una placa de concreto de 15 cm y una tarima de madera de 25 cm aproximadamente. Para realizar el almacenamiento, los sacos se apilan sobre la tarima a una distancia de 30 cm de las paredes de la bodega, procurando dejar pasillos de acceso entre las pilas, como se observa en la Tabla 23. La altura de las pilas va ligada al consumo del cemento; si el consumo es rápido se puede apilar hasta 15 sacos, mientras que si el consumo es lento la cantidad máxima son 10 sacos. En zonas muy húmedas el tiempo de almacenamiento es menor que en zonas secas. (Holcim Colombia, 2015)

Tabla 23  
Descargue y almacenamiento de cemento empacado



Fuente: Argos. Luz verde. (09 de Septiembre de 2012). Descarga mecanizada de cemento

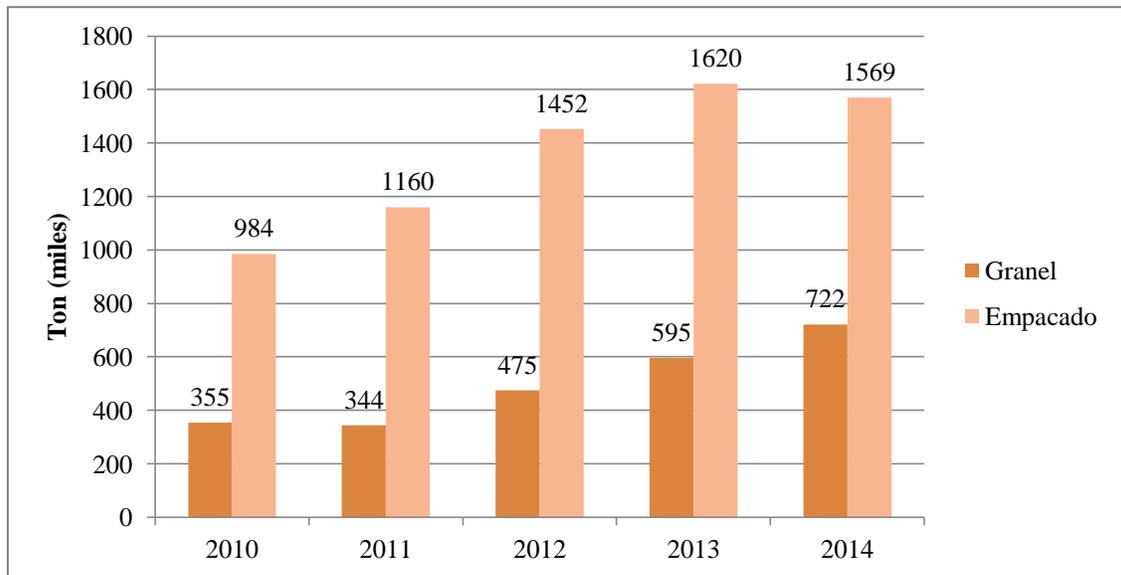
### 8.3. CONSTRUCTORES Y CONTRATISTAS

Los constructores y contratistas se clasifican en tres segmentos: la construcción de vivienda, la construcción de otras edificaciones y la construcción de obras civiles. En las obras de construcción, un porcentaje del cemento llega en forma de concreto premezclado que es enviado directamente desde las empresas concreteras. No obstante, los constructores y contratistas demandan cemento a granel, ya que cuentan con plantas de concreto móviles ubicadas

directamente en las obras. Esta opción ofrece mucha versatilidad, puesto que estas plantas se pueden transportar a cualquier región del país, garantizando la disponibilidad permanente de concreto en obra. Adicionalmente, se aseguran las condiciones técnicas y de calidad que requiere el concreto para infraestructura y las empresas concreteras disponen personal exclusivo para la operación. (Cemex Colombia, 2015) (DANE, 2015)

Para el año 2014 se despachó a los constructores y contratistas 2.290.766 toneladas de cemento. La cantidad de despachos para este segmento ha tenido un fuerte evolución, como se ilustra en el Gráfico 11, ya que para el año 2010 se despacharon 1.339.352 toneladas, es decir que en los últimos cuatro años se ha presentado un incremento aproximado del 71%; similar al que presenta el segmento de las concreteras. El 69% de los despachos para el año 2014 fueron de cemento empacado, mientras el 31% fue a granel. Esto se debe en gran parte a que las constructoras demandan cemento ensacado en grandes volúmenes para los procesos de mampostería en los segmentos de vivienda y otras edificaciones. (DANE, 2015)

Gráfico 11  
Despachos a constructoras y contratistas por tipo de empaque 2010-2014



Fuente: Elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

Los procesos logísticos que se deben tener en cuenta para las empresas constructoras y contratistas son el descargue y almacenamiento de cemento ensacado y a granel. Estos procesos se explicaron previamente en el segmento de comercializadoras y concreteras, respectivamente.

#### 8.4. FIBROCEMENTO

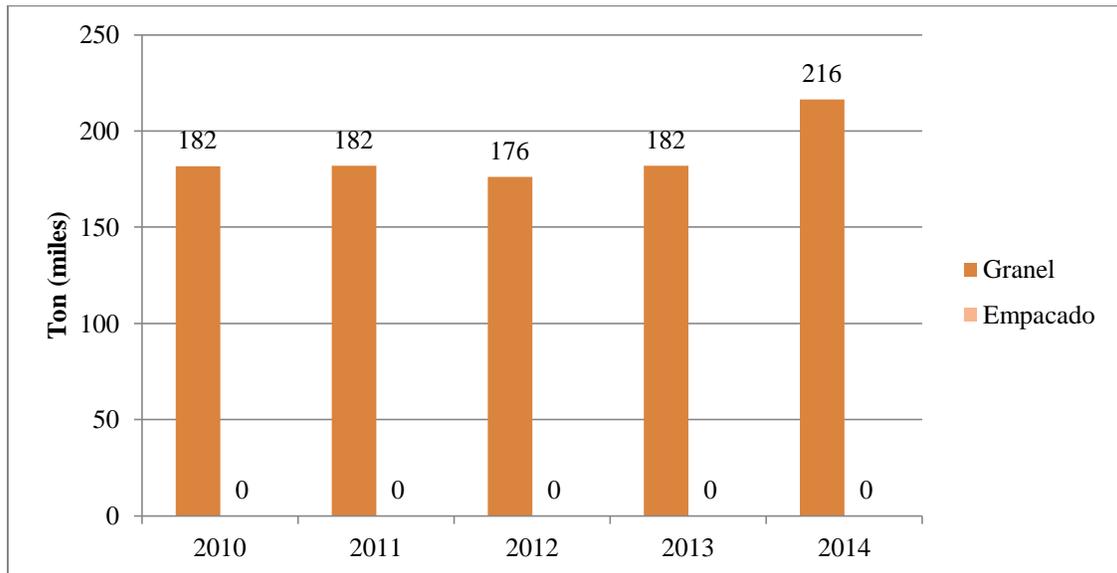
El fibrocemento es un material que se utiliza en la construcción, el cual se obtiene generalmente de la mezcla de cemento y fibra de vidrio; este último le entrega al material propiedades de resistencia. Los productos hechos a partir de fibrocemento son ampliamente utilizados debido a su economía e incluyen: tejas onduladas y lisas, tubos de agua y drenaje, tubos de alcantarillado, tanques de almacenamiento de agua y piezas para la formación de cubreras. Anteriormente, el fibrocemento se fabricaba a partir de fibra de asbesto y amianto, pero se descubrió que estos materiales eran cancerígenos y por esto actualmente se utiliza la fibra de vidrio. (Arquigráfico, 2014) (Megia, 2014)

En Colombia existen principalmente 3 empresas que producen elementos de fibrocemento: Eternit, con plantas ubicadas en Barranquilla, Bogotá y Yumbo; Skinko con su planta Colombit, ubicada en Manizales y Toptec S.A. con su planta Manilit, ubicada también en Manizales. En las plantas de fibrocemento se requiere hacer un proceso de dosificación a partir de silos para llevar a cabo un mezclado de materiales. Así pues, el cemento utilizado es comprado a granel y los procesos logísticos que se deben tener en cuenta son el descargue y almacenamiento de cemento a granel, los cuales se describieron anteriormente para el segmento de concreteras. (Legis, 2015) (Wehrhahn, 2015)

Para el año 2014 se despachó al segmento de fibrocemento 216.353 toneladas de cemento a granel, como se muestra en el Gráfico 12. La cantidad de despachos para este segmento no ha tenido una gran evolución, ya que el cemento despachado se encuentra alrededor de 182.000 Ton, con excepción del año 2014 que tuvo un nivel superior a 200.000 Ton. Para el año 2010 se despacharon 181.746 Ton; comparando este valor con el nivel de despachos para el año 2014 se observa un incremento del 19%. (DANE, 2015)

Gráfico 12

Despachos a fibrocemento por tipo de empaque 2010-2014



Fuente: Elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

## 8.5. PREFABRICADOS

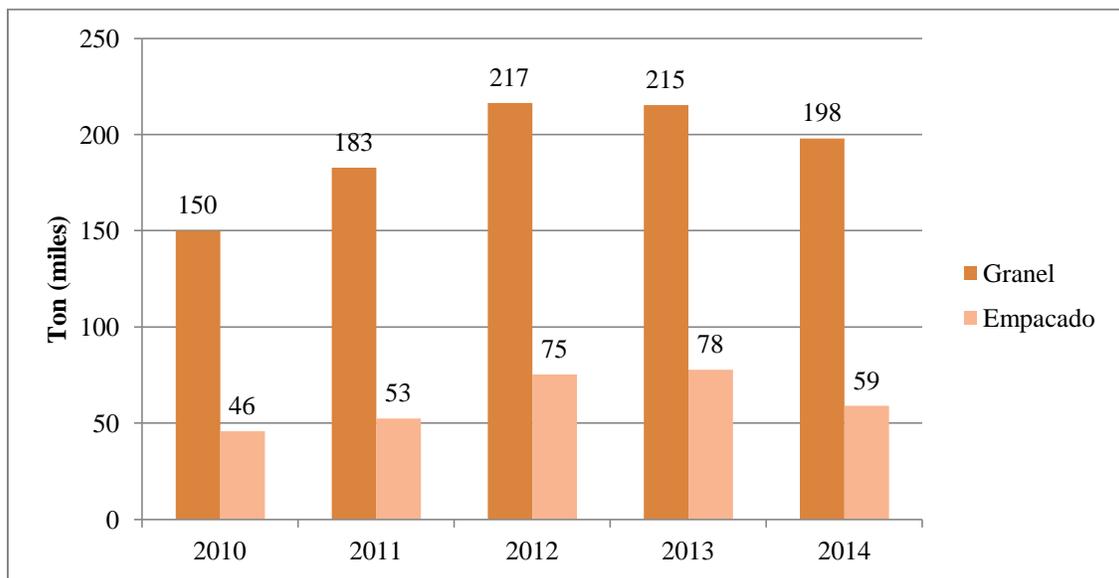
Los prefabricados son elementos que se producen a partir de concreto y son fabricados con anterioridad a la obra. Estos elementos brindan mayor economía en cuanto a tiempo y recursos, puesto que se pueden colocar directamente en el punto requerido y se construyen bajo las especificaciones del cliente. Los prefabricados pueden ser elementos de cualquier tamaño y se utilizan para alcantarillado, edificaciones, infraestructuras y espacios públicos. (Pacasmayo, 2015) (TITAN, 2015)

En Colombia existen empresas especializadas únicamente en la producción de prefabricados de poco tamaño, pero gran volumen, como los adoquines y bloques de concreto. Un ejemplo de este tipo de empresa es Colombiana de bloques S.A. Por otro lado, empresas como Manufacturas de cemento S.A. TITAN, ofrecen productos de tamaños y formas muy variadas y abarcan también el segmento de prefabricados para infraestructuras y edificaciones. Dependiendo del tamaño de los prefabricados y el proceso de producción, la compra de cemento se hace a granel o

en sacos. Así pues, los elementos logísticos que se deben tener en cuenta son el descargue y almacenamiento de cemento en sacos y a granel, los cuales se describieron anteriormente para el segmento de comercializadores y concretaras, respectivamente. (CAMACOL, 2009) (TITAN, 2015)

Para el año 2014 se despachó al segmento de prefabricados 256.977 toneladas de cemento; el 77% de estos despachos se hizo a granel, mientras que el 23% fue cemento empacado, como se ilustra en el Gráfico 13. La cantidad de despachos para este segmento ha tenido una evolución moderada, ya que después del auge en el año 2012 con 217.000 Ton, se ha presentado una caída para los próximos 2 años. Para el año 2010 se despacharon 195.744 Ton; si se compara este valor con los despachos para el año 2014 se evidencia un incremento del 31% aproximadamente. (DANE, 2015)

Gráfico 13  
Despachos a prefabricados por tipo de empaque 2010-2014



Fuente: elaboración propia basado en DANE. (30 de Marzo de 2015). Estadísticas de Cemento Gris: Anexos. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>

## 9. FLETES Y TRANSPORTES

### 9.1. TRANSPORTISTAS

La operación de transporte del cemento puede realizarse de dos maneras: que el cliente asuma el transporte o que lo realice la cementera. Cuando el cliente asume el transporte, este cuenta con vehículos propios y cubre el costo de la operación y de los seguros. La cementera realiza la programación de los despachos e informa al cliente la ventana de tiempo durante la cual puede retirar el producto. La responsabilidad de la cementera va hasta el momento del cargue del cemento; a partir de ese punto el cliente se hace responsable de la manipulación del producto, de la ruta de transporte, el descargue y el almacenamiento. Generalmente los clientes mayoristas son los que cuentan con su propia flota de transporte. (Quintero, 2015) (Florez, 2015)

Por otro lado, cuando la cementera asume el transporte, esta cubre el costo de la operación y de los seguros. En este caso, la cementera se hace responsable del cargue, la manipulación del producto, la ruta de transporte y en la mayoría de los casos del descargue. La responsabilidad del cliente comienza en el momento de la recepción del producto y este se encarga del almacenamiento. La cementera puede contar con flota propia o con flota contratada. Cuando la flota es propia, la cementera se encarga de la programación de despachos y de vehículos. Adicionalmente, define y controla sus propios estándares de tiempo de entrega y requerimientos para vehículos y conductores. (Quintero, 2015) (Florez, 2015)

Cuando la flota es contratada, el contrato puede ser con una empresa de transporte o con un operador logístico. En la mayoría de los casos la cementera abre un proceso de licitación, en donde se determinan los requerimientos técnicos y legales, como se explicó en el ítem de logística de entrada. En este caso, la cementera solo determina qué se va a cargar y en qué cantidades y transmite la información al operador, quien programa los vehículos para satisfacer la necesidad de transporte. Adicionalmente, la cementera garantiza la efectividad de la operación, verificando que los requerimientos se cumplan y realizando evaluaciones de

desempeño del operador de transporte en donde se valida la conformación de la flota y el cumplimiento en los tiempos de entrega. (Quintero, 2015) (Florez, 2015)

## 9.2. TIPOS DE VEHÍCULOS

Cuando el transporte de cemento es a granel, los tipos de vehículos utilizados son camiones graneleros tipo cisterna con capacidad de 18 a 35 toneladas. Se utilizan camiones doble troque, mini-mula, tracto-camión de 2 ejes y tracto-camión de 3 ejes, como se puede observar en la Tabla 24. Estos camiones utilizan un sistema neumático para fluidificar el cemento y facilitar su descargue; este sistema cuenta con un compresor de aire externo. Los tanques de estos vehículos son cerrados y herméticos, tienen bocas con compuertas en la parte superior para el cargue del material y válvulas para descargue neumático en la parte inferior. La sección inferior de los tanques es cónica para facilitar el descargue. (IConcret, 2015)

Cuando el transporte de cemento es en sacos, se utilizan vehículos con capacidades de 5 a 35 toneladas. Estos vehículos son camiones turbo, sencillos, doble troque, mini-mula, tracto-camión de 2 ejes y tracto-camión de 3 ejes, como se puede observar en la Tabla 24. Estos camiones deben contar con una carpa para cubrir el producto y protegerlo de la humedad. Generalmente la carpa se coloca sobre los *pallets* y se asegura con cintas de seguridad. Algunos vehículos cuentan con estructuras de madera removibles de poca altura que brindan mayor protección al material mientras que otros tienen techo y fondo metálico y la carpa cumple la función de cubrir las caras laterales del furgón a modo de cortina. Otros vehículos más especializados cuentan con montacargas móvil integrado, que facilita el descargue en cualquier lugar. (Diago, 2015) (Silva, 2015) (Argos. Luz verde, 2012)

Tabla 24  
Configuración de vehículos transporte de cemento

Tipo de vehículo	Capacidad (Ton)	Cemento en sacos	Cemento a granel
C2-Camión turbo	5		NA
C2-Camión sencillo	10		NA
C3-Camión doble troque	18		
C2S1-Mini mula	20		
C3S2-Tracto-camión 2 ejes	32		
C3S3-Tracto-camión 3 ejes	35		

Fuente: Ditransa. (2014). Tipos De Vehículos / IConcret. (2015). Cisternas

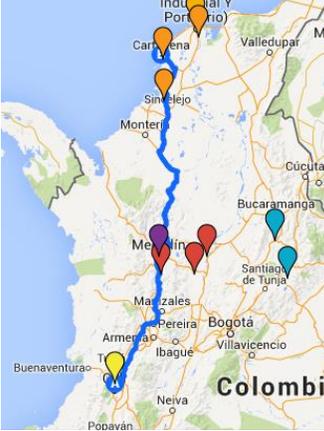
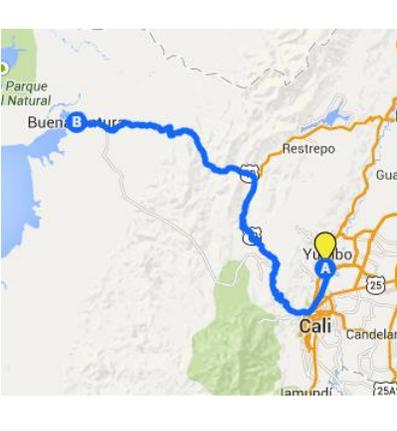
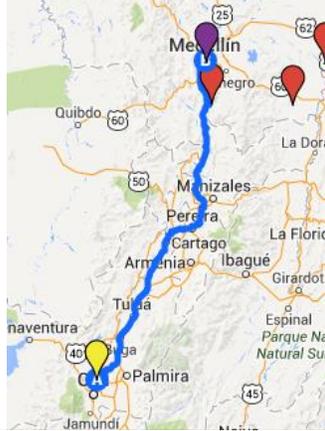
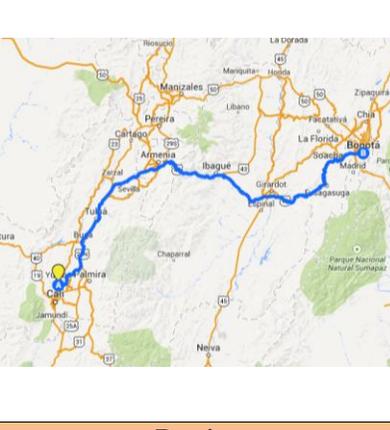
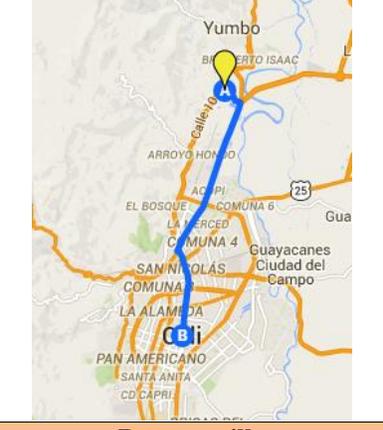
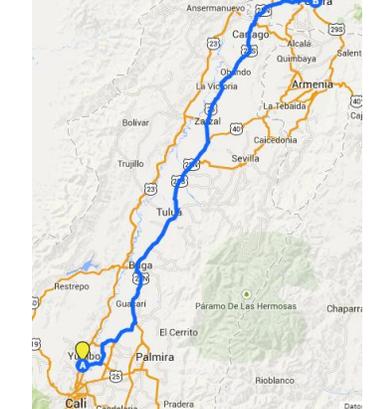
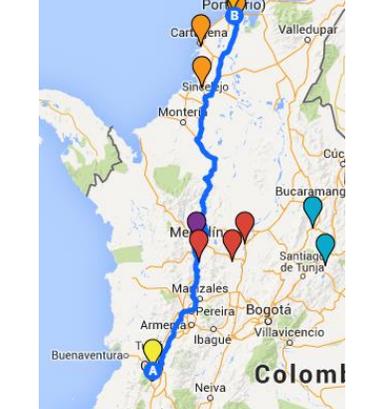
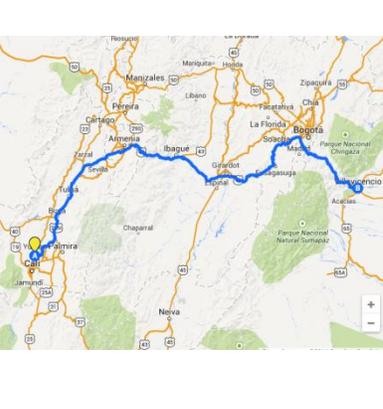
### 9.3. RUTAS

Como se mencionó anteriormente, las empresas cementeras han construido plantas productivas a lo largo de todo el territorio colombiano. Esto implica que para comercializar sus productos deben transportarlos desde dichas plantas a los centros de consumo del país utilizando la infraestructura vial. Debido a que el costo de transportar el cemento largas distancias es elevado, las cementeras que solo cuentan con una planta buscan realizar la comercialización de su producto dentro de sus áreas principales de influencia.

Por otro lado, las cementeras que tienen más de una planta se enfocan en optimizar el costo de transporte, despachando el cemento desde la planta más cercana y respetando la zona de influencia de cada una de sus plantas. A pesar de esto, cuando es necesario, las cementeras envían producto fuera de sus zonas de influencia para lograr mayor presencia en el país.

A continuación se muestran las rutas utilizadas para distribuir los productos de las cementeras desde cada planta hasta los centros de consumo más importantes: Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Pereira, Cali y Villavicencio. Adicionalmente, se incluyó Buenaventura, debido a su importancia como puerto en el pacífico. Las Tablas 25 a 43 contienen mapas con el punto de origen, el punto de destino, la ruta y la distancia en kilómetros que tiene cada ruta y el tiempo promedio que toma recorrerla. Este ruteo se realizó utilizando la herramienta Google Maps.

Tabla 25  
Ruteo desde la planta Valle - Argos

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 1052 Km / Tiempo: 19h 11m</b>	<b>Distancia: 133 Km / Tiempo: 2h 44m</b>	<b>Distancia: 415 Km / Tiempo: 7h 29m</b>
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 450 Km / Tiempo: 8h 3m</b>	<b>Distancia: 17 Km / Tiempo: 31m</b>	<b>Distancia: 758 Km / Tiempo: 13h 39m</b>
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 202 Km / Tiempo: 3h 44m</b>	<b>Distancia: 1113 Km / Tiempo: 20h 14m</b>	<b>Distancia: 548 Km / Tiempo: 9h 50m</b>
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 26  
Ruteo desde planta El Cairo - Argos

Cartagena	Buenaventura	Medellín
Distancia: 702 Km / Tiempo: 13h 18m	Distancia: 426 Km / Tiempo: 8h 10m	Distancia: 65 Km / Tiempo: 1h 36m
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 456 Km / Tiempo: 8h 52m	Distancia: 377 Km / Tiempo: 7h 10m	Distancia: 462 Km / Tiempo: 9h 9m
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 168 Km / Tiempo: 3h 30m	Distancia: 763 Km / Tiempo: 14h 21m	Distancia: 560 Km / Tiempo: 10h 47m

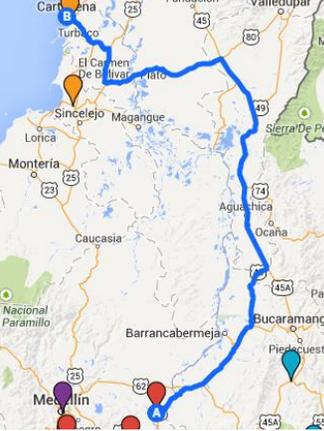
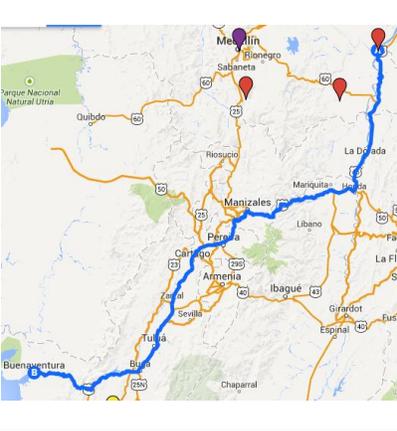
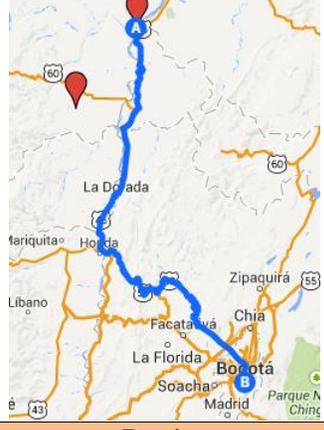
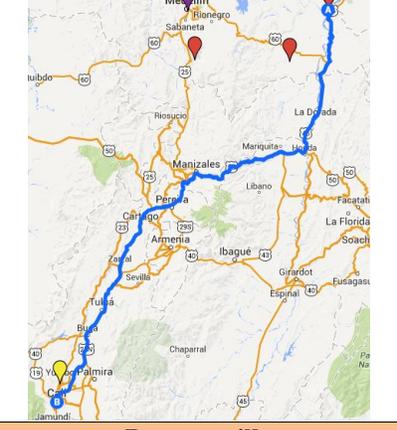
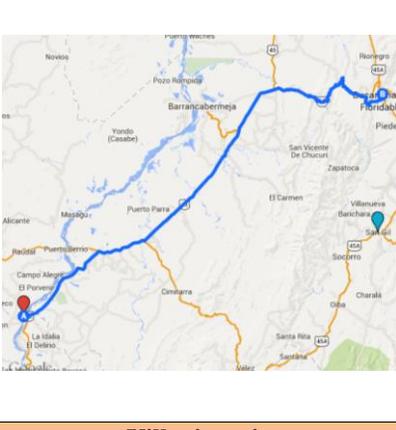
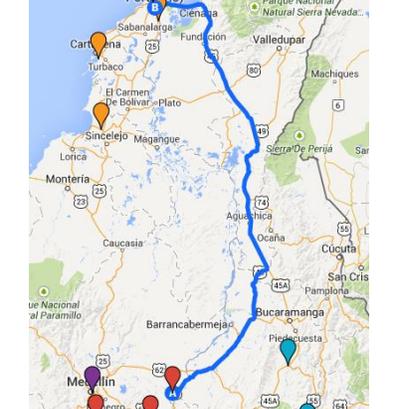
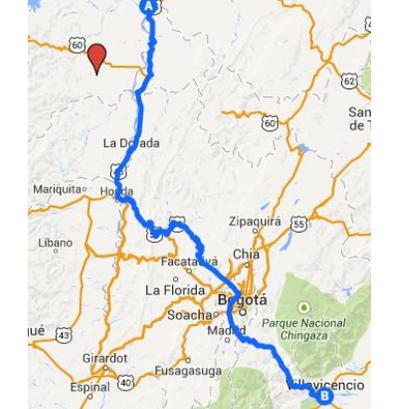
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 27  
Ruteo desde planta Rio Claro - Argos

Cartagena	Buena Ventura	Medellín
Distancia: 764 Km / Tiempo: 14h 40m	Distancia: 580 Km / Tiempo: 11h 12m	Distancia: 162 Km / Tiempo: 3h 26m
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 305 Km / Tiempo: 6h 15m	Distancia: 531 Km / Tiempo: 10h 12m	Distancia: 347 Km / Tiempo: 6h 48m
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 322 Km / Tiempo: 6h 32m	Distancia: 828 Km / Tiempo: 15h 36m	Distancia: 409 Km / Tiempo: 8h 10m

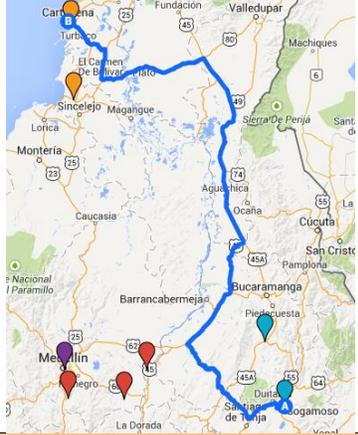
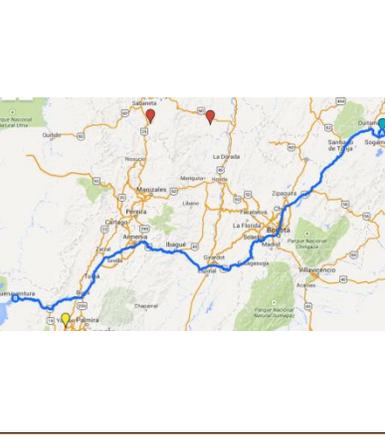
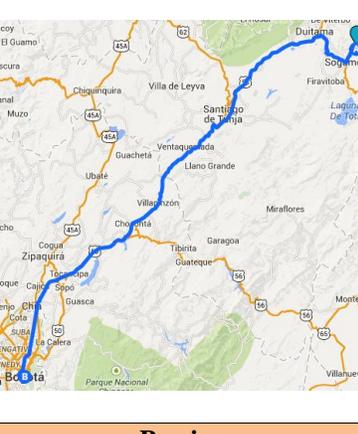
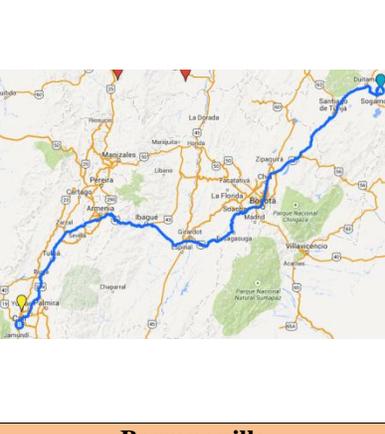
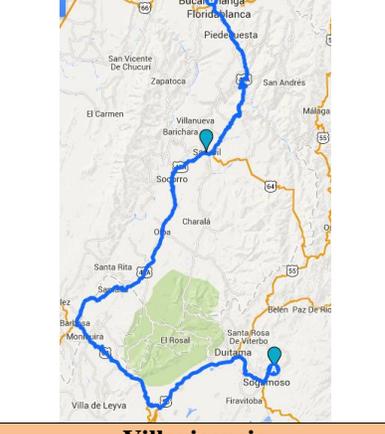
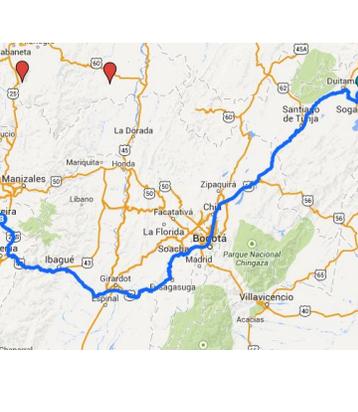
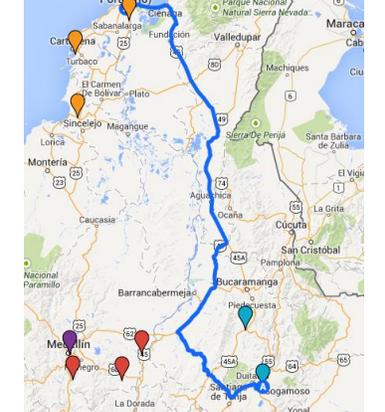
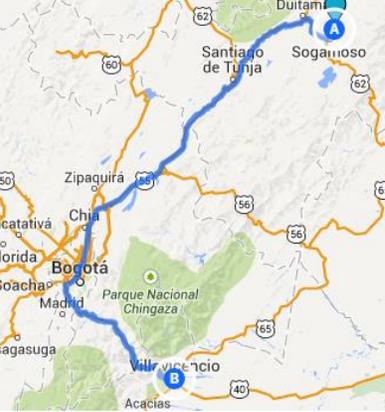
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 28  
Ruteo desde planta Puerto Nare - Argos

Cartagena	Buena Ventura	Medellín
Distancia: 799 Km / Tiempo: 14h 35m	Distancia: 578 Km / Tiempo: 10h 46m	Distancia: 251 Km / Tiempo: 4h 37m
		
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 303 Km / Tiempo: 5h 49m	Distancia: 529 Km / Tiempo: 9h 45m	Distancia: 245 Km / Tiempo: 4h 34m
		
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 319 Km / Tiempo: 6h 5m	Distancia: 726 Km / Tiempo: 13h 21m	Distancia: 407 Km / Tiempo: 7h 43m
		

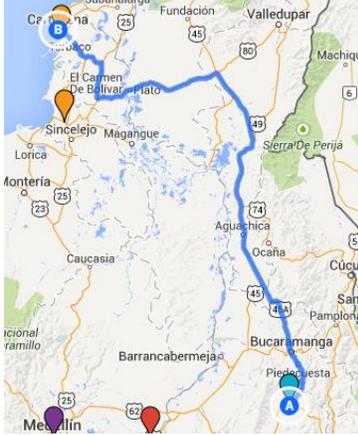
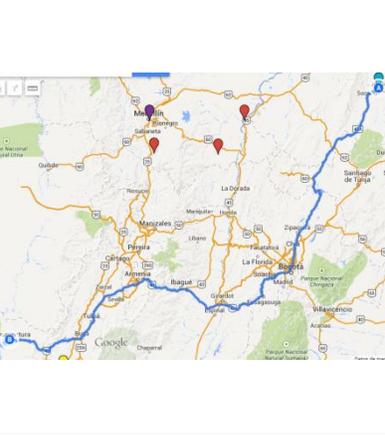
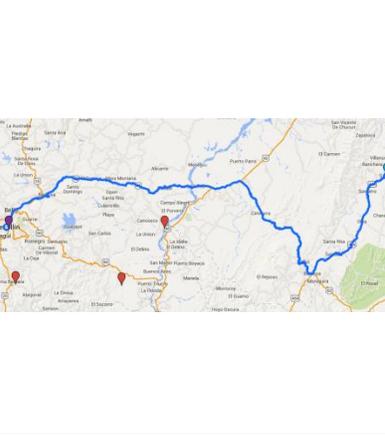
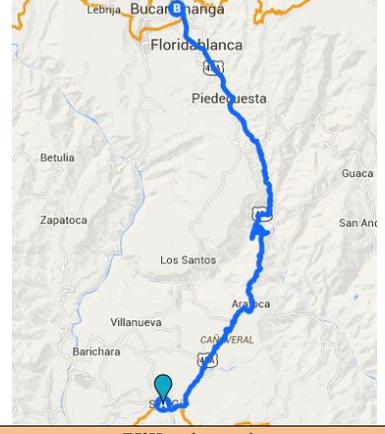
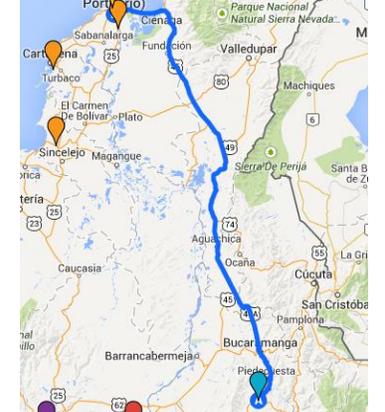
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 29  
Ruteo desde planta Sogamoso - Argos

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
Distancia: 989 Km / Tiempo: 18h 39m	Distancia: 738 Km / Tiempo: 13h 30m	Distancia: 494 Km / Tiempo: 10h 29m
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
Distancia: 235 Km / Tiempo: 4h 38m	Distancia: 689 Km / Tiempo: 12h 29m	Distancia: 342 Km / Tiempo: 6h 58m
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
Distancia: 546 Km / Tiempo: 9h 56m	Distancia: 916 Km / Tiempo: 17h 25m	Distancia: 341 Km / Tiempo: 6h 37m
		

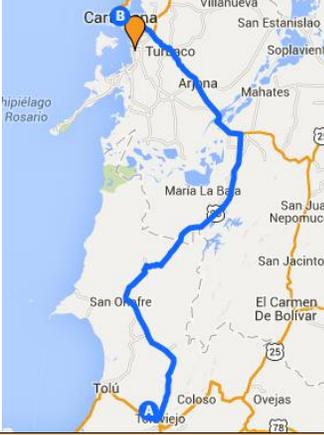
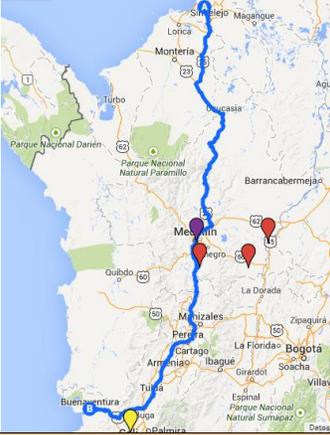
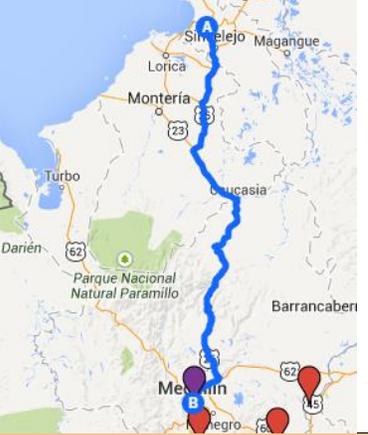
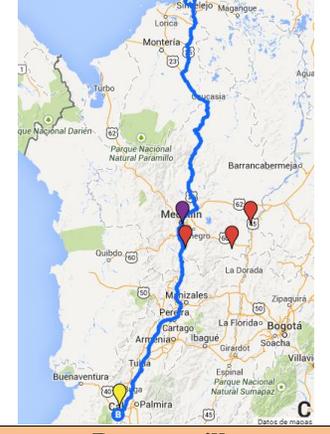
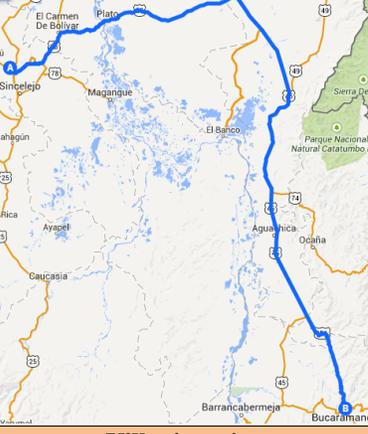
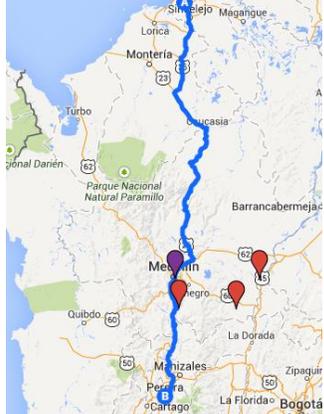
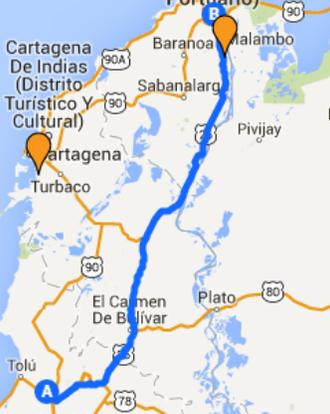
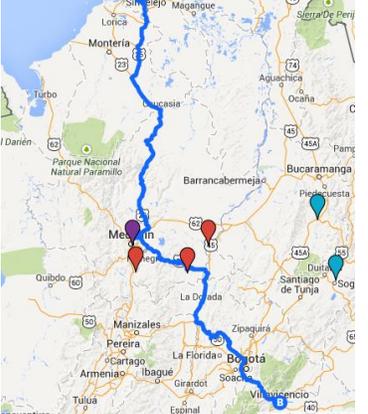
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 30  
Ruteo desde planta San Gil - Argos

Cartagena	Buenaventura	Medellín
Distancia: 748 Km / Tiempo: 13h 40m	Distancia: 817 Km / Tiempo: 14h 43m	Distancia: 478 Km / Tiempo: 9h 34m
		
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 314 Km / Tiempo: 5h 51m	Distancia: 768 Km / Tiempo: 13h 42m	Distancia: 98 Km / Tiempo: 1h 53m
		
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 625 Km / Tiempo: 11h 9m	Distancia: 675 Km / Tiempo: 12h 26m	Distancia: 420 Km / Tiempo: 7h 50
		

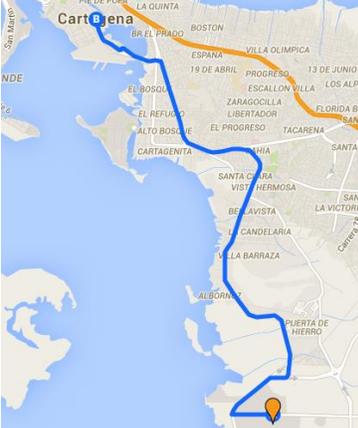
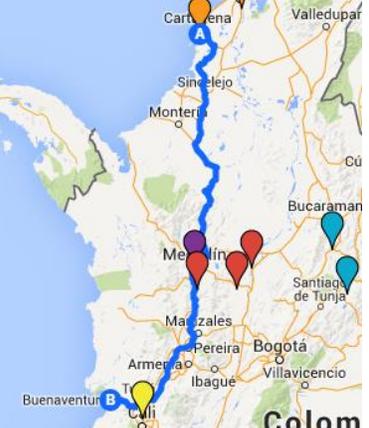
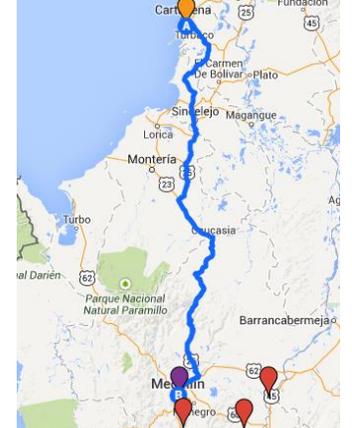
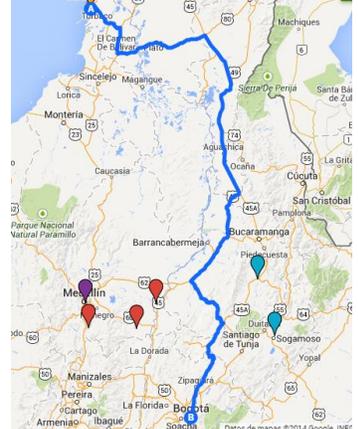
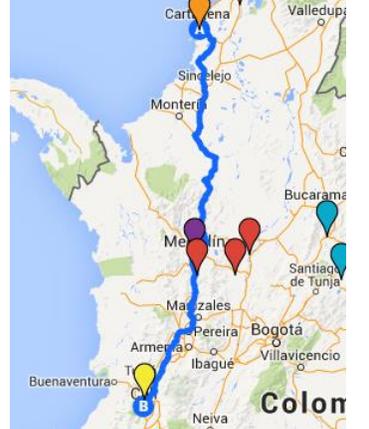
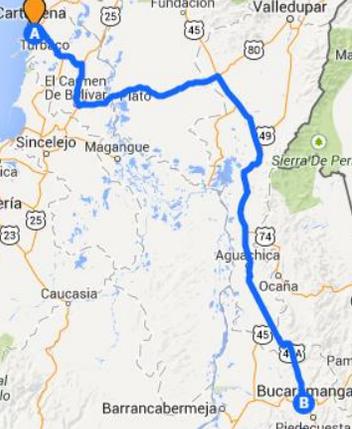
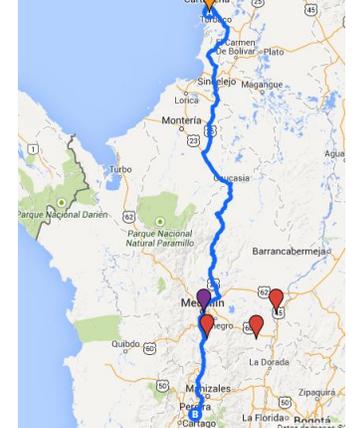
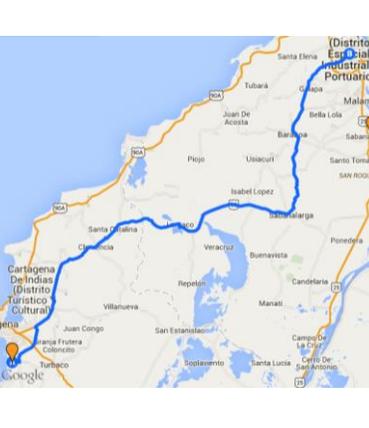
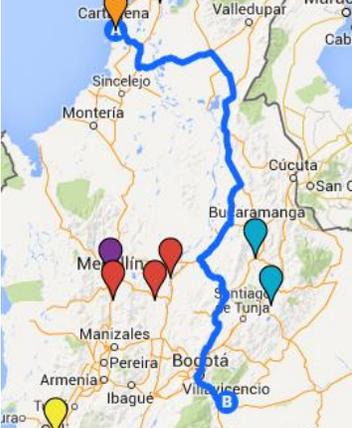
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 31  
Ruteo desde planta Tolú - Argos

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
Distancia: 154 Km / Tiempo: 2h 58m	Distancia: 967 Km / Tiempo: 17h 48m	Distancia: 497 Km / Tiempo: 9h 12m
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
Distancia: 923 Km / Tiempo: 16h 55m	Distancia: 918 Km / Tiempo: 16h 47m	Distancia: 597 Km / Tiempo: 11h 2m
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
Distancia: 709 Km / Tiempo: 13h 7m	Distancia: 225 Km / Tiempo: 4h 32m	Distancia: 1027 Km / Tiempo: 18h 49m
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 32  
Ruteo desde planta Cartagena - Argos

Cartagena	Buenaventura	Medellín
Distancia: 14 Km / Tiempo: 42 m	Distancia: 1105 Km / Tiempo: 20h 27m	Distancia: 636 Km / Tiempo: 11h 51m
		
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 1050 Km / Tiempo: 19h 16m	Distancia: 1056 Km / Tiempo: 19h 27m	Distancia: 647 Km / Tiempo: 11h 57m
		
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 847 Km / Tiempo: 15h 47m	Distancia: 135 Km / Tiempo: 2h 51m	Distancia: 1157 Km / Tiempo: 21h 16m
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 33  
Ruteo desde planta Sabanagrande - Argos

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
Distancia: 153 Km / Tiempo: 2h 56m	Distancia: 1150 Km / Tiempo: 20h 57m	Distancia: 680 Km / Tiempo: 12h 21m
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
Distancia: 995 Km / Tiempo: 18h 2m	Distancia: 1101 Km / Tiempo: 19h 56m	Distancia: 593 Km / Tiempo: 10h 43m
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
Distancia: 892 Km / Tiempo: 16h 16m	Distancia: 22 Km / Tiempo: 39 m	Distancia: 1102 Km / Tiempo: 20h 2m

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 34  
Ruteo desde planta Caracolito - Cemex

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 1004 Km / Tiempo: 18h 37m</b>	<b>Distancia: 345 Km / Tiempo: 6h 32m</b>	<b>Distancia: 367 Km / Tiempo: 6h 55m</b>
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 174 Km / Tiempo: 3h 22m</b>	<b>Distancia: 296 Km / Tiempo: 5h 32m</b>	<b>Distancia: 524 Km / Tiempo: 9h 41m</b>
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 152 Km / Tiempo: 2h 59m</b>	<b>Distancia: 1005 Km / Tiempo: 18h 28m</b>	<b>Distancia: 272 Km / Tiempo: 5h 9m</b>

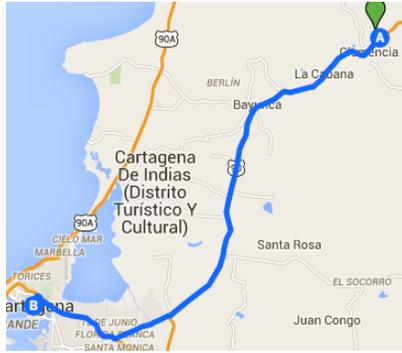
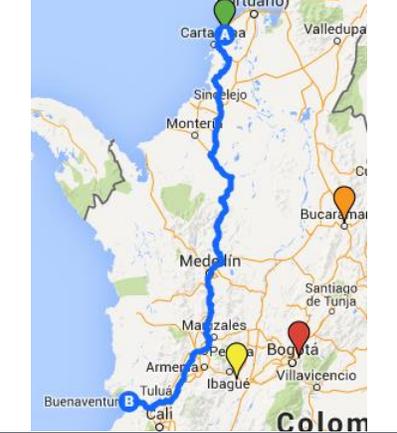
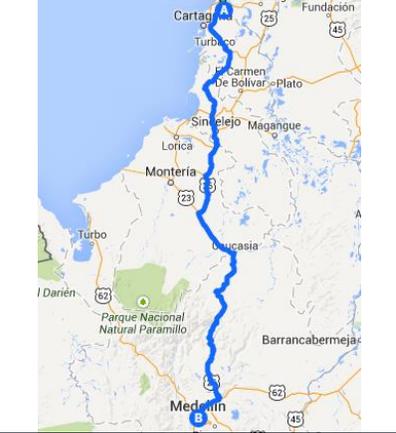
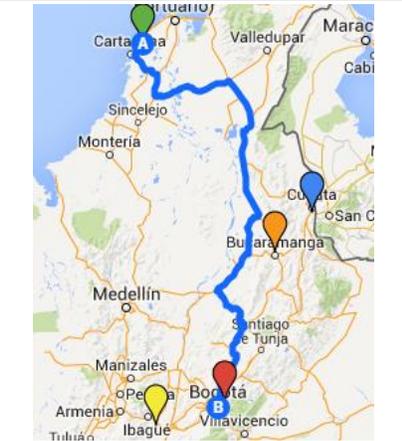
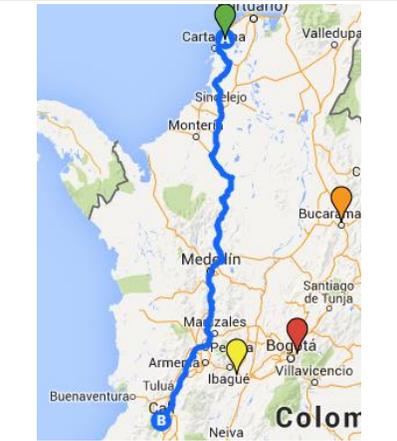
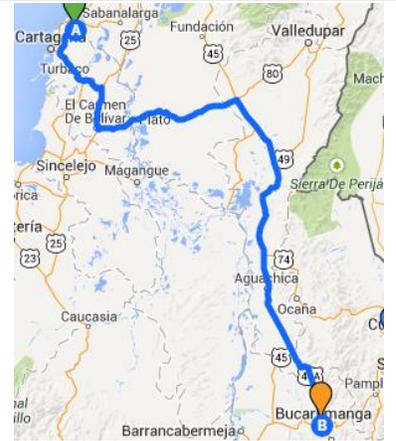
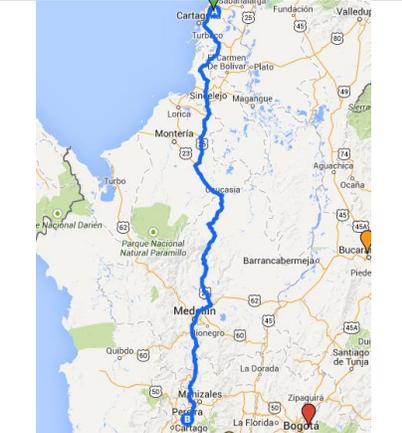
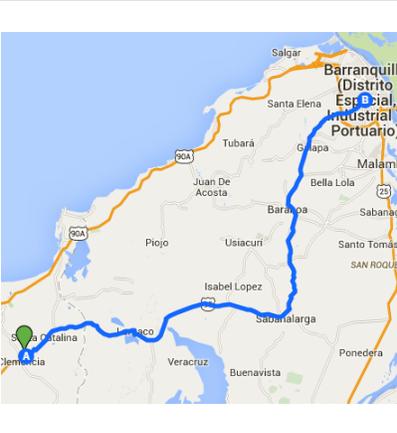
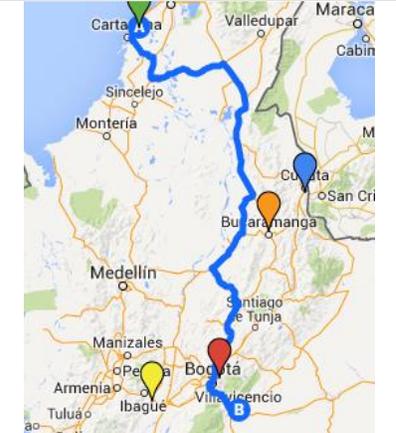
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 35  
Ruteo desde planta Cúcuta - Cemex

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 740 Km / Tiempo: 13h 33m</b>	<b>Distancia: 1008 Km / Tiempo: 18h 30m</b>	<b>Distancia: 597 Km / Tiempo: 11h 41m</b>
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 550 Km / Tiempo: 10h 10m</b>	<b>Distancia: 959 Km / Tiempo: 17h 30m</b>	<b>Distancia: 194 Km / Tiempo: 3h 38m</b>
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 750 Km / Tiempo: 13h 50m</b>	<b>Distancia: 667 Km / Tiempo: 12h 19m</b>	<b>Distancia: 657 Km / Tiempo: 12h 10</b>

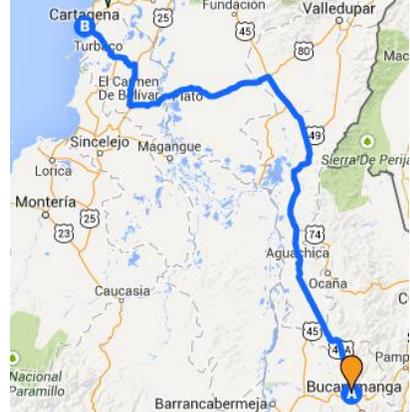
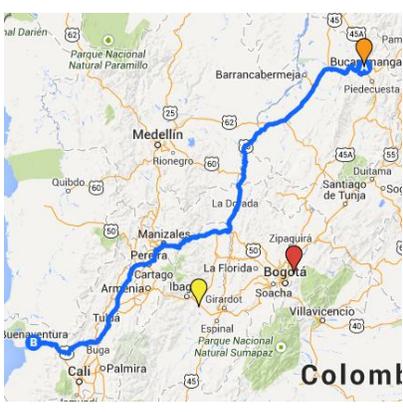
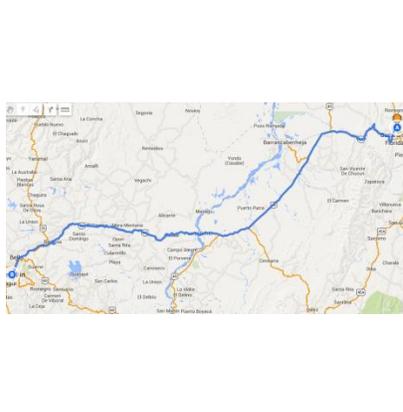
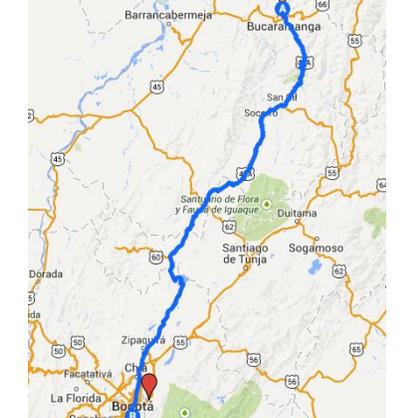
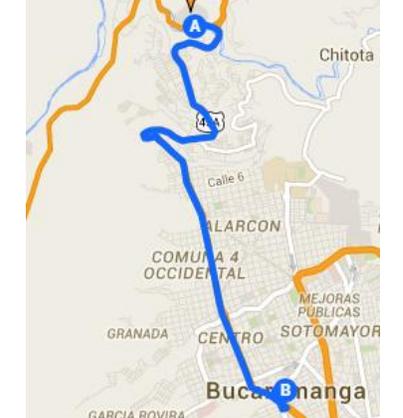
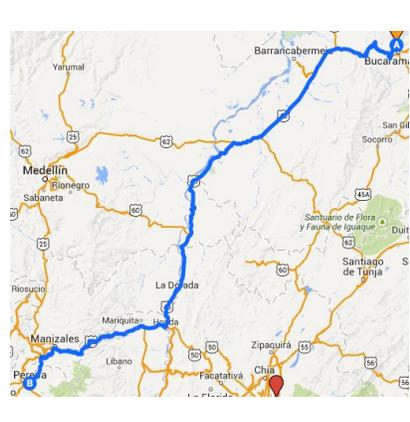
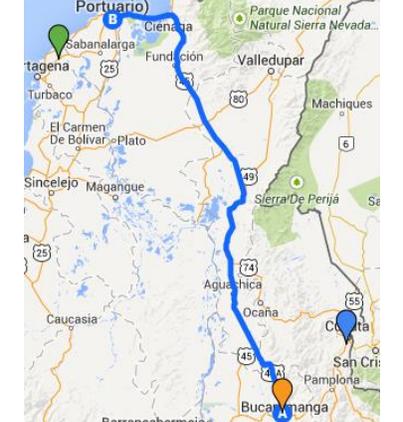
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de google maps

Tabla 36  
Ruteo desde planta Clemencia - Cemex

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 38 Km / Tiempo: 46m</b>	<b>Distancia: 1129 Km / Tiempo: 20h 40m</b>	<b>Distancia: 660 Km / Tiempo: 12h 4m</b>
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 1074 Km / Tiempo: 19h 29m</b>	<b>Distancia: 1080 Km / Tiempo: 19h 39m</b>	<b>Distancia: 671 Km / Tiempo: 12h 10m</b>
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 871 Km / Tiempo: 15h 59m</b>	<b>Distancia: 96 Km / Tiempo: 1h 53m</b>	<b>Distancia: 1181 Km / Tiempo: 21h 28m</b>
		

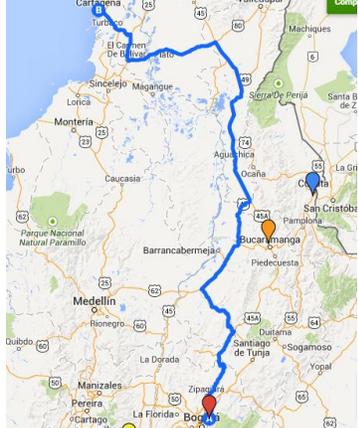
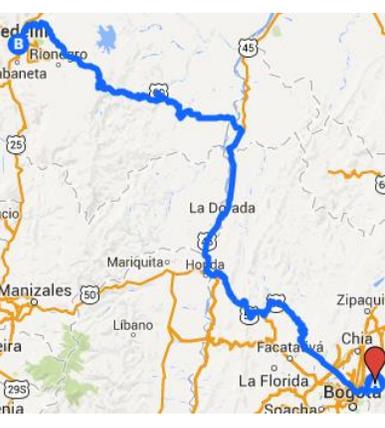
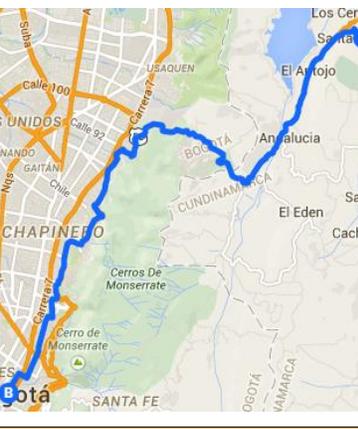
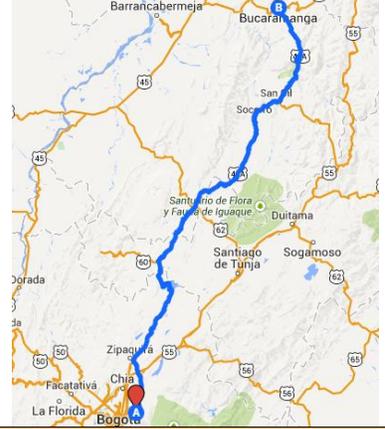
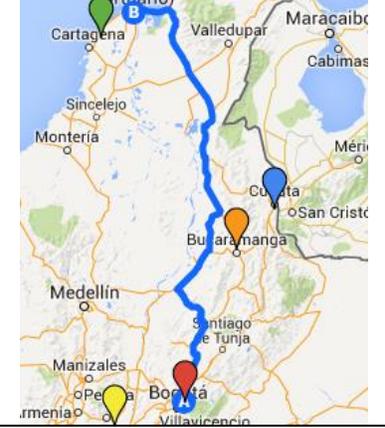
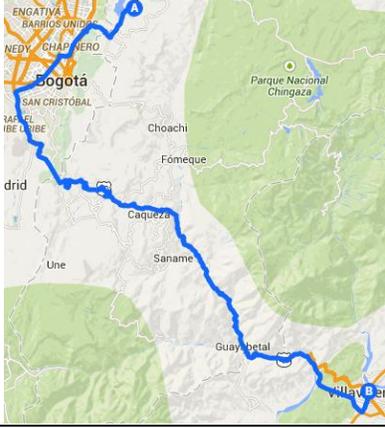
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 37  
Ruteo desde planta Bucaramanga - Cemex

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 643 Km / Tiempo: 11h 40m</b>	<b>Distancia: 818 Km / Tiempo: 15h 6m</b>	<b>Distancia: 407 Km / Tiempo: 8h 17m</b>
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 418 Km / Tiempo: 7h 41m</b>	<b>Distancia: 769 Km / Tiempo: 14h 6m</b>	<b>Distancia: 9 Km / Tiempo: 12m</b>
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 560 Km / Tiempo: 10h 26m</b>	<b>Distancia: 570 Km / Tiempo: 10h 26m</b>	<b>Distancia: 525 Km / Tiempo: 9h 40m</b>
		

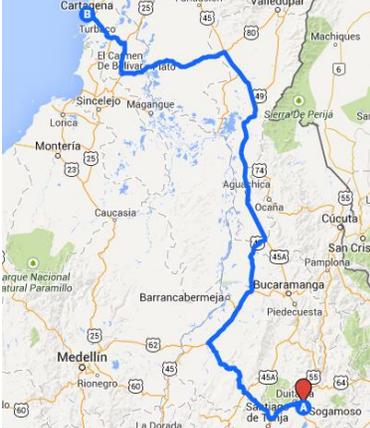
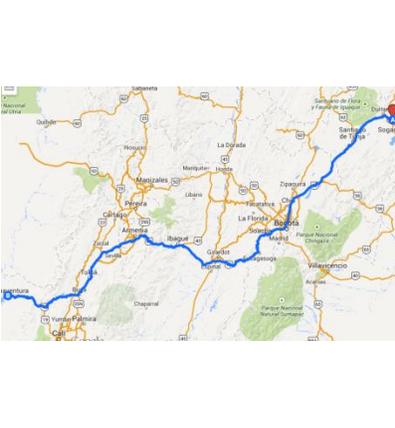
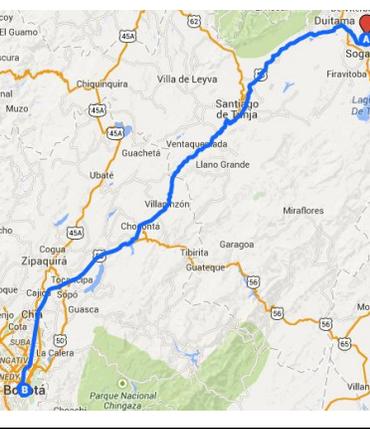
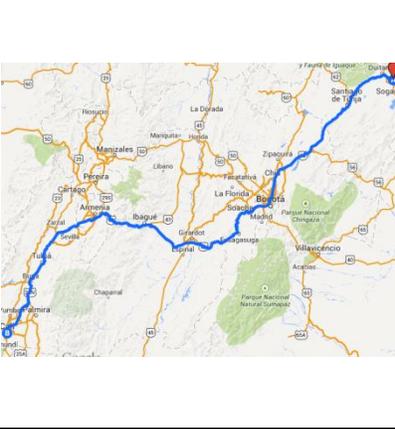
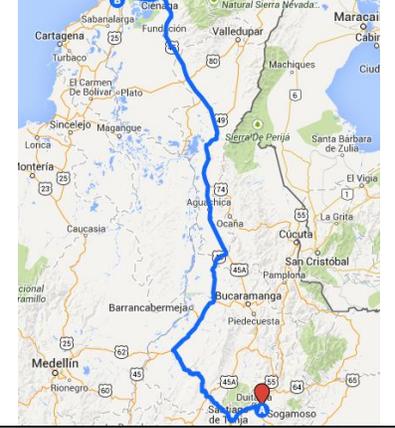
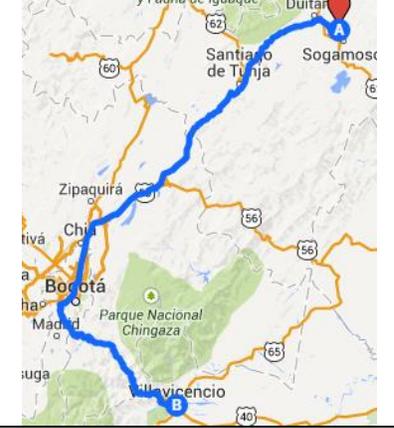
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 38  
Ruteo desde planta La Calera - Cemex

Cartagena	Buena Ventura	Medellín
Distancia: 1042 Km / Tiempo: 19h 8m	Distancia: 532 Km / Tiempo: 9h 47m	Distancia: 435 Km / Tiempo: 8h 26m
		
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 24 Km / Tiempo: 47m	Distancia: 483 Km / Tiempo: 8h 47m	Distancia: 398 Km / Tiempo: 7h 33m
		
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 340 Km / Tiempo: 6h 14m	Distancia: 969 Km / Tiempo: 17h 54m	Distancia: 135 Km / Tiempo: 2h 54m
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 39  
Ruteo desde planta Holcim

Cartagena	Buena Ventura	Medellín
Distancia: 976 Km / Tiempo: 18h 29m	Distancia: 726 Km / Tiempo: 13h 20m	Distancia: 481 Km / Tiempo: 10h 19m
		
Bogotá	Cali	Bucaramanga
Distancia: 222 Km / Tiempo: 4h 28m	Distancia: 677 Km / Tiempo: 12h 19m	Distancia: 330 Km / Tiempo: 6h 48m
		
Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Distancia: 533 Km / Tiempo: 9h 46m	Distancia: 903 Km / Tiempo: 17h 15m	Distancia: 329 Km / Tiempo: 6h 27m
		

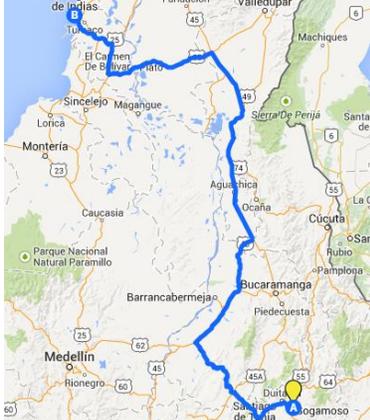
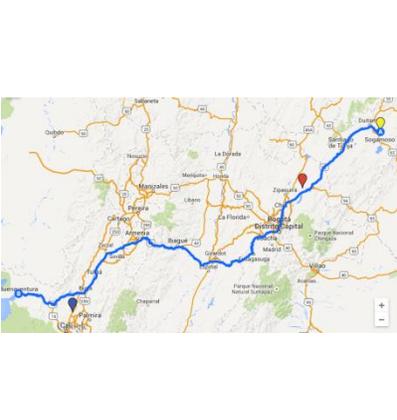
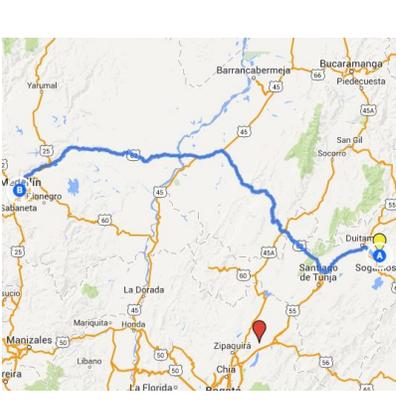
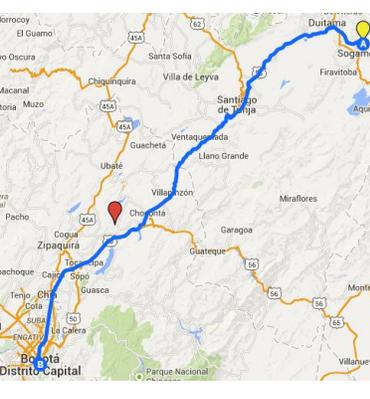
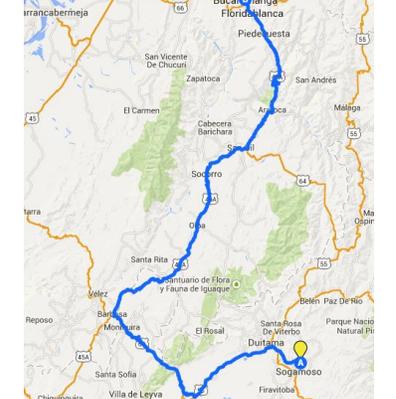
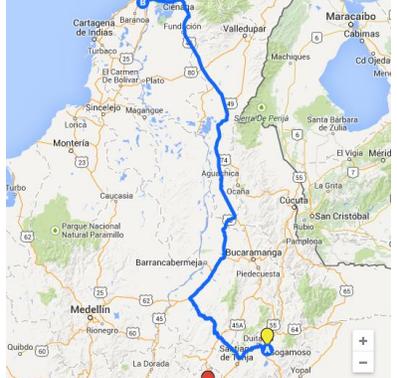
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 40  
Ruteo desde planta Cetesa

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 1022 Km / Tiempo: 18h 45m</b>	<b>Distancia: 579 Km / Tiempo: 10h 30m</b>	<b>Distancia: 485 Km / Tiempo: 8h 55m</b>
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 75 Km / Tiempo: 1h 38m</b>	<b>Distancia: 530 Km / Tiempo: 9h 29m</b>	<b>Distancia: 376 Km / Tiempo: 7h 5m</b>
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 386 Km / Tiempo: 6h 57m</b>	<b>Distancia: 949 Km / Tiempo: 17h 31m</b>	<b>Distancia: 182 Km / Tiempo: 3h 37m</b>

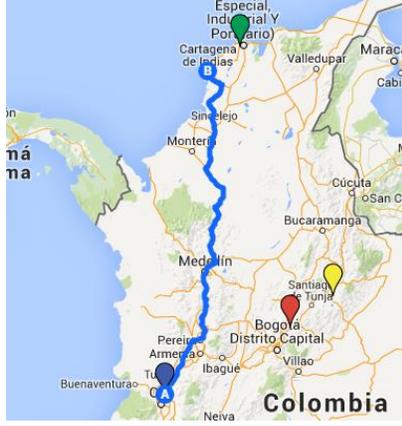
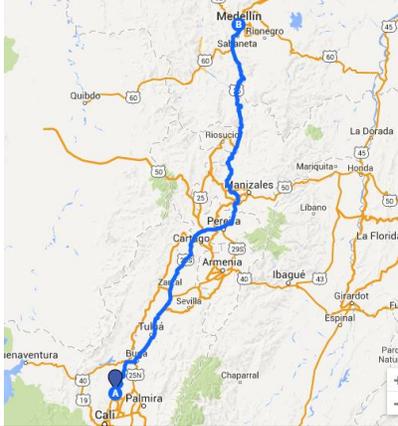
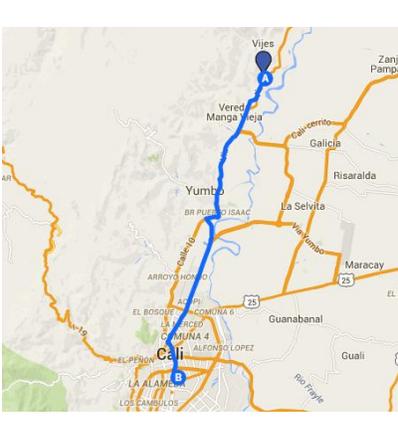
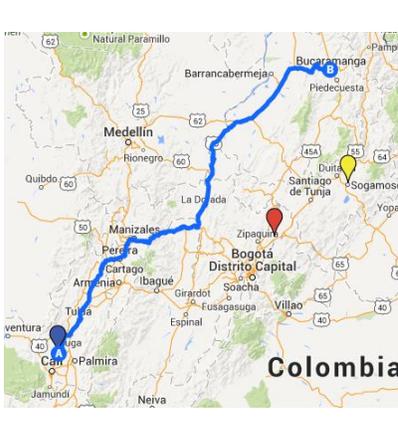
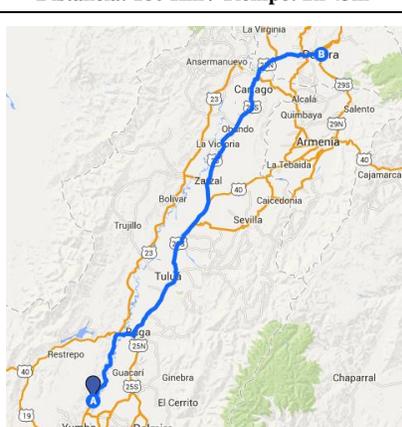
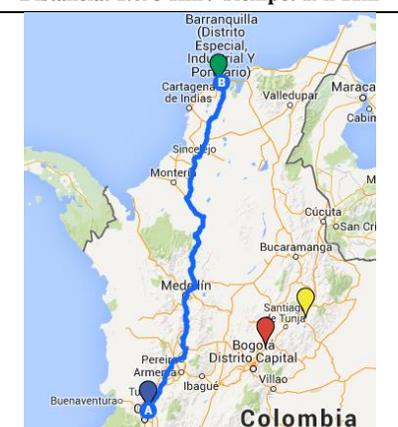
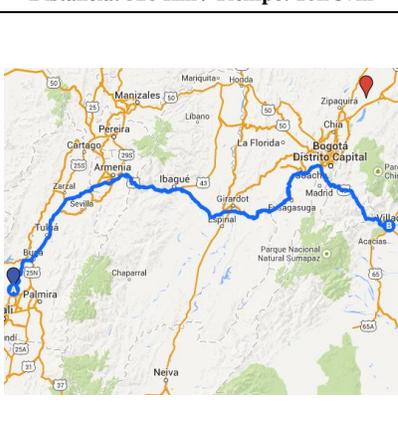
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 41  
Ruteo desde planta Cementos del Oriente

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 983 Km / Tiempo: 16h 57m</b>	<b>Distancia: 730 Km / Tiempo: 13h 31m</b>	<b>Distancia: 485 Km / Tiempo: 10h 18m</b>
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 226 Km / Tiempo: 3h 34m</b>	<b>Distancia: 679 Km / Tiempo: 12h 5m</b>	<b>Distancia: 333 Km / Tiempo: 6h 49m</b>
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 537 Km / Tiempo: 10h 1m</b>	<b>Distancia: 906 Km / Tiempo: 15h 25m</b>	<b>Distancia: 331 Km / Tiempo: 6h</b>
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 42  
Ruteo desde planta San Marcos

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
Distancia: 1.035 Km / Tiempo: 18h	Distancia: 139 Km / Tiempo: 2h 49m	Distancia: 395 Km / Tiempo: 6h 51m
		
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
Distancia: 430 Km / Tiempo: 8h 30m	Distancia: 30 Km / Tiempo: 43m	Distancia: 738 Km / Tiempo: 12 h 23m
		
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
Distancia: 180 Km / Tiempo: 2h 43m	Distancia: 1.093 Km / Tiempo: 19h 11m	Distancia: 526 Km / Tiempo: 10h 37m
		

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

Tabla 43  
Ruteo desde planta Ultracem

<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>
<b>Distancia: 127 Km / Tiempo: 2h 1m</b>	<b>Distancia: 1.183 Km / Tiempo: 21h 15m</b>	<b>Distancia: 713 Km / Tiempo: 12h 35m</b>
<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>
<b>Distancia: 1.031 Km / Tiempo: 16h 30m</b>	<b>Distancia: 1.132 Km / Tiempo: 19h 48m</b>	<b>Distancia: 586 Km / Tiempo: 9h 45m</b>
<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Distancia: 925 Km / Tiempo: 16h 52m</b>	<b>Distancia: 7 Km / Tiempo: 16 m</b>	<b>Distancia: 1.133 Km / Tiempo: 18h 47m</b>

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de Google Maps

#### 9.4. FLETES

El modo de transporte utilizado en el país es el terrestre. Los fletes se calculan teniendo en cuenta variables generales del viaje. Entre estas variables se encuentran: las horas disponibles, la distancia, la velocidad promedio, la capacidad del vehículo, los impuestos y las comisiones para administración y para el conductor. Adicionalmente, se debe tener en cuenta variables específicas: como el origen y el destino, el tipo de carga y los tiempos logísticos acordados para cargue, descargue, consecución de carga y tiempo de espera para el descargue. La estructura de costos que se detalla en la Tabla 44 incluye: costos variables que dependen de la movilización del vehículo, costos fijos independientes de la operación del vehículo y otros costos que dependen de la facturación. (Ministerio de Transporte, 2011)

Tabla 44  
Estructura de costos de transporte

Costos variables	Costos fijos	Otros costos
Combustibles	Salario	Comisiones y prestaciones
Mantenimiento y reparaciones	Capital	Factor de administración
Peajes	Seguros	Retención en la fuente, ICA
Llantas	Parqueadero	Costo adicional de espera
Lubricantes	Impuestos	
Imprevistos		
Lavado, engrase y filtros		

Fuente: Ministerio de Transporte. (2011). Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Mintransporte: <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones.php?id=359>

Las matrices de fletes que se muestran en las Tablas 45 a 65 son una simulación de costos realizada a partir de la herramienta interactiva SICE-TAC del Ministerio de Transporte. Para estas simulaciones se utilizaron condiciones ideales por lo que no incluyen costos adicionales de espera. Cada matriz muestra el costo del viaje y el costo por tonelada desde cada planta hasta los centros de consumo más importantes del país. Entre estos se incluyó a Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Villavicencio y Pereira. Adicionalmente se incluyó a Buenaventura por su importancia como puerto en el Pacífico.

Tabla 45

Matriz de fletes Argos: valor viaje y tonelada en camión sencillo

	<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Valor del viaje</b>	<b>Valle</b>	\$3.130.514	\$565.473	\$1.415.601	\$1.492.180	\$270.000	\$2.278.639	\$588.571	\$3.233.628	\$2.026.914
	<b>El Cairo</b>	\$1.941.470	\$1.656.711	\$333.000	\$1.252.163	\$1.415.601	\$1.444.569	\$831.241	\$2.044.761	\$1.767.917
	<b>Rio claro</b>	\$1.941.470	\$1.656.711	\$360.000	\$1.252.163	\$1.415.601	\$1.444.569	\$831.241	\$2.044.761	\$1.767.917
	<b>Puerto Nare</b>	\$1.941.470	\$1.656.711	\$378.000	\$1.252.163	\$1.415.601	\$1.444.569	\$831.241	\$2.044.761	\$1.767.917
	<b>Sogamoso</b>	\$2.559.955	\$2.402.497	\$1.991.879	\$613.090	\$1.970.659	\$1.123.490	\$1.590.445	\$2.716.155	\$1.148.288
	<b>San Gil</b>	\$1.770.928	\$2.568.447	\$1.444.569	\$1.172.430	\$2.278.639	\$360.000	\$1.724.498	\$1.671.135	\$1.784.624
	<b>Cartagena</b>	\$270.000	\$3.285.764	\$1.952.249	\$2.603.478	\$3.141.292	\$1.770.928	\$2.575.331	\$337.824	\$3.134.289
	<b>Tolú</b>	\$567.861	\$2.917.874	\$1.441.041	\$2.532.782	\$2.754.081	\$1.883.500	\$2.057.902	\$714.023	\$3.081.837
	<b>Sabana Grande</b>	\$337.824	\$3.481.207	\$2.044.761	\$2.680.948	\$3.233.628	\$1.671.135	\$2.668.692	\$270.000	\$3.231.817
<b>Valor de la tonelada</b>	<b>Valle</b>	\$347.834	\$62.830	\$157.289	\$165.797	\$30.000	\$253.182	\$65.396	\$359.292	\$225.212
	<b>El Cairo</b>	\$215.718	\$184.079	\$37.000	\$139.129	\$157.289	\$160.507	\$92.360	\$227.195	\$196.435
	<b>Rio claro</b>	\$215.718	\$184.079	\$40.000	\$139.129	\$157.289	\$160.507	\$92.360	\$227.195	\$196.435
	<b>Puerto Nare</b>	\$215.718	\$184.079	\$42.000	\$139.129	\$157.289	\$160.507	\$92.360	\$227.195	\$196.435
	<b>Sogamoso</b>	\$284.439	\$266.994	\$221.319	\$68.121	\$218.962	\$124.832	\$176.716	\$301.795	\$127.587
	<b>San Gil</b>	\$196.769	\$285.383	\$160.507	\$130.270	\$253.182	\$40.000	\$191.611	\$185.681	\$198.291
	<b>Cartagena</b>	\$30.000	\$365.084	\$216.916	\$289.275	\$349.032	\$196.769	\$286.147	\$37.536	\$348.254
	<b>Tolú</b>	\$63.095	\$324.208	\$160.115	\$281.420	\$306.009	\$209.277	\$228.655	\$79.336	\$342.426
	<b>Sabana Grande</b>	\$37.536	\$386.800	\$227.195	\$297.883	\$359.292	\$185.681	\$296.521	\$30.000	\$359.090

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 46

Matriz de fletes Argos: valor viaje y tonelada en doble troque

DESTINO ORIGEN		Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Valor del viaje	Valle	\$3.732.452	\$685.778	\$1.710.755	\$1.823.371	\$432.000	\$2.739.052	\$751.669	\$3.852.761	\$2.420.986
	El Cairo	\$2.284.449	\$1.972.779	\$584.000	\$1.513.011	\$1.710.755	\$1.695.685	\$1.003.739	\$2.405.039	\$2.089.986
	Rio claro	\$2.284.449	\$1.972.779	\$632.000	\$1.513.011	\$1.710.755	\$1.695.685	\$1.003.739	\$2.405.039	\$2.089.986
	Puerto Nare	\$2.284.449	\$1.972.779	\$664.000	\$1.513.011	\$1.710.755	\$1.695.685	\$1.003.739	\$2.405.039	\$2.089.986
	Sogamoso	\$3.144.369	\$2.882.190	\$2.390.921	\$754.023	\$2.418.065	\$1.377.038	\$1.927.818	\$3.297.456	\$1.369.459
	San Gil	\$2.145.086	\$3.052.744	\$1.695.685	\$1.473.823	\$2.739.052	\$608.000	\$2.045.106	\$2.027.736	\$2.158.249
	Cartagena	\$400.000	\$3.905.229	\$2.297.525	\$3.149.303	\$3.745.532	\$2.145.086	\$3.057.803	\$426.181	\$3.741.917
	Tolú	\$688.365	\$3.541.829	\$1.692.358	\$3.009.894	\$3.271.549	\$2.255.923	\$2.443.194	\$854.946	\$3.629.827
	Sabana Grande	\$426.181	\$4.121.657	\$2.405.039	\$3.244.717	\$3.852.761	\$2.027.736	\$3.166.251	\$400.000	\$3.858.864
Valor de la tonelada	Valle	\$233.278	\$42.861	\$106.922	\$113.960	\$27.000	\$171.190	\$46.979	\$240.797	\$151.311
	El Cairo	\$142.778	\$123.298	\$36.500	\$94.563	\$106.922	\$105.980	\$62.733	\$150.314	\$130.618
	Rio claro	\$142.778	\$123.298	\$39.500	\$94.563	\$106.922	\$105.980	\$62.733	\$150.314	\$130.618
	Puerto Nare	\$142.778	\$123.298	\$41.500	\$94.563	\$106.922	\$105.980	\$62.733	\$150.314	\$130.618
	Sogamoso	\$196.523	\$180.136	\$149.432	\$47.126	\$151.129	\$86.064	\$120.488	\$206.091	\$85.591
	San Gil	\$134.067	\$190.796	\$105.980	\$92.113	\$171.190	\$38.000	\$127.819	\$126.733	\$134.890
	Cartagena	\$25.000	\$244.076	\$143.595	\$196.831	\$234.095	\$134.067	\$191.112	\$26.636	\$233.869
	Tolú	\$43.022	\$215.739	\$105.772	\$188.118	\$204.471	\$140.995	\$152.699	\$53.434	\$226.864
	Sabana Grande	\$26.639	\$257.603	\$150.314	\$202.794	\$240.797	\$126.733	\$197.890	\$25.000	\$241.158

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 47

Matriz de fletes Argos: valor viaje y tonelada en C3S3

		DESTINO	Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
		ORIGEN									
Valor del viaje	Valle	\$5.804.178	\$1.087.241	\$2.669.307	\$2.863.807	\$816.000	\$4.271.069	\$1.191.525	\$5.973.238	\$3.785.134	
	El Cairo	\$3.559.844	\$3.072.511	\$1.020.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	
	Rio claro	\$3.559.844	\$3.072.511	\$1.122.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	
	Puerto Nare	\$3.559.844	\$3.072.511	\$1.190.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	
	Sogamoso	\$4.907.023	\$4.503.273	\$3.727.632	\$1.192.802	\$3.796.563	\$2.141.713	\$3.012.112	\$5.123.568	\$2.147.430	
	San Gil	\$3.358.779	\$4.750.422	\$2.644.788	\$2.298.744	\$4.271.069	\$1.190.000	\$3.188.792	\$3.169.226	\$3.355.394	
	Cartagena	\$680.000	\$6.055.825	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	
	Tolú	\$1.086.635	\$5.356.627	\$2.638.300	\$4.673.869	\$5.075.381	\$3.488.121	\$3.793.997	\$1.323.955	\$5.633.769	
	Sabana Grande	\$688.154	\$6.386.046	\$3.728.657	\$5.060.843	\$5.973.238	\$3.169.226	\$4.903.980	\$680.000	\$6.007.812	
Valor de la tonelada	Valle	\$170.711	\$31.977	\$78.509	\$84.229	\$24.000	\$125.619	\$35.044	\$175.683	\$111.327	
	El Cairo	\$104.701	\$90.367	\$30.000	\$69.521	\$78.509	\$77.787	\$46.127	\$109.666	\$95.700	
	Rio claro	\$104.701	\$90.367	\$33.000	\$69.521	\$78.509	\$77.787	\$46.127	\$109.666	\$95.700	
	Puerto Nare	\$104.701	\$90.367	\$35.000	\$69.521	\$78.509	\$77.787	\$46.127	\$109.666	\$95.700	
	Sogamoso	\$144.324	\$134.449	\$109.636	\$35.082	\$111.663	\$62.991	\$88.591	\$150.693	\$63.159	
	San Gil	\$98.787	\$139.718	\$77.787	\$67.610	\$125.619	\$35.000	\$93.788	\$93.212	\$98.688	
	Cartagena	\$20.000	\$178.112	\$104.701	\$144.215	\$170.711	\$98.787	\$139.223	\$20.239	\$171.118	
	Tolú	\$31.959	\$157.547	\$77.597	\$137.466	\$149.275	\$102.591	\$111.588	\$38.939	\$165.699	
	Sabana Grande	\$20.239	\$187.824	\$109.666	\$148.848	\$175.683	\$93.212	\$144.234	\$20.000	\$176.700	

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 48

Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en camión sencillo

		DESTINO ORIGEN	Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Valor del viaje	Caracolito		\$2.604.186	\$1.100.765	\$1.378.118	\$652.432	\$855.500	\$1.478.924	\$537.395	\$2.761.124	\$1.184.011
	Cúcuta		\$1.959.429	\$3.266.641	\$1.981.634	\$1.900.203	\$3.010.678	\$765.723	\$2.454.257	\$1.864.258	\$2.509.731
	Clemencia		\$315.000	\$3.285.764	\$1.952.249	\$2.603.478	\$3.141.292	\$1.770.928	\$1.575.231	\$337.824	\$3.134.289
	Bucaramanga		\$1.770.928	\$2.568.447	\$1.444.569	\$1.172.430	\$2.278.639	\$315.000	\$1.724.498	\$1.671.135	\$178.624
	La Calera		\$2.592.700	\$1.744.451	\$1.252.163	\$342.000	\$1.492.180	\$1.193.503	\$1.130.449	\$2.680.948	\$517.111
Valor de la tonelada	Caracolito		\$289.354	\$122.307	\$153.124	\$72.492	\$95.055	\$164.324	\$59.510	\$306.791	\$131.556
	Cúcuta		\$217.714	\$362.960	\$220.181	\$211.133	\$334.519	\$85.080	\$272.695	\$207.139	\$278.859
	Clemencia		\$35.000	\$365.084	\$216.916	\$289.275	\$349.032	\$196.769	\$286.147	\$37.536	\$348.254
	Bucaramanga		\$196.769	\$285.383	\$160.507	\$130.270	\$253.182	\$35.000	\$191.611	\$185.681	\$198.291
	La Calera		\$288.077	\$193.827	\$139.129	\$38.000	\$165.797	\$132.611	\$125.605	\$297.883	\$57.456

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 49

Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en doble troque

		DESTINO ORIGEN	Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Valor del viaje	Caracolito		\$3.136.640	\$1.321.182	\$1.626.823	\$806.268	\$1.054.720	\$1.761.953	\$651.784	\$3.314.037	\$1.400.467
	Cúcuta		\$2.284.449	\$3.849.524	\$2.310.626	\$2.302.149	\$3.572.052	\$893.135	\$2.877.920	\$2.222.854	\$2.983.646
	Clemencia		\$400.000	\$3.905.229	\$2.297.529	\$3.149.303	\$3.745.532	\$2.145.086	\$1.003.739	\$426.181	\$3.741.917
	Bucaramanga		\$2.145.086	\$3.052.744	\$1.695.685	\$1.473.823	\$2.739.052	\$480.000	\$2.045.106	\$2.027.736	\$2.158.249
	La Calera		\$3.136.224	\$2.097.293	\$1.513.011	\$560.000	\$1.823.371	\$1.505.674	\$1.355.475	\$3.244.717	\$599.218
Valor de la tonelada	Caracolito		\$196.040	\$82.573	\$101.676	\$50.391	\$65.920	\$110.122	\$40.736	\$207.127	\$87.529
	Cúcuta		\$145.960	\$240.595	\$144.414	\$143.884	\$223.253	\$55.820	\$179.870	\$138.928	\$186.477
	Clemencia		\$25.000	\$244.076	\$143.595	\$196.831	\$234.095	\$134.067	\$62.733	\$26.636	\$233.869
	Bucaramanga		\$134.067	\$190.796	\$105.980	\$92.113	\$171.190	\$30.000	\$127.819	\$126.733	\$134.890
	La Calera		\$196.014	\$131.080	\$94.563	\$35.000	\$113.960	\$94.104	\$84.717	\$202.794	\$37.451

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 50

Matriz de fletes Cemex: valor viaje y tonelada en C3S3

		DESTINO ORIGEN	Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
Valor del viaje	Caracolito		\$4.911.012	\$2.060.046	\$2.534.978	\$1.287.886	\$1.656.207	\$2.757.974	\$1.021.401	\$5.162.880	\$2.204.532
	Cúcuta		\$3.663.897	\$5.982.899	\$3.591.513	\$3.576.129	\$5.555.040	\$1.401.341	\$4.473.549	\$3.481.916	\$4.628.283
	Clemencia		\$680.000	\$6.055.825	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015
	Bucaramanga		\$3.358.779	\$4.750.422	\$2.644.788	\$2.298.744	\$4.271.069	\$918.000	\$3.188.792	\$3.169.226	\$3.355.394
	La Calera		\$4.903.328	\$3.284.524	\$2.363.723	\$1.020.000	\$2.863.807	\$2.343.281	\$2.116.758	\$5.060.843	\$947.514
Valor de la tonelada	Caracolito		\$144.441	\$60.766	\$74.558	\$37.879	\$48.712	\$80.969	\$30.041	\$151.849	\$64.839
	Cúcuta		\$107.761	\$175.967	\$105.632	\$105.180	\$163.383	\$41.215	\$131.574	\$102.409	\$136.125
	Clemencia		\$20.000	\$178.112	\$104.701	\$144.215	\$170.711	\$98.787	\$139.223	\$20.239	\$171.118
	Bucaramanga		\$98.787	\$139.718	\$77.787	\$67.610	\$125.619	\$27.000	\$93.788	\$93.212	\$98.688
	La Calera		\$144.215	\$96.603	\$69.521	\$30.000	\$84.229	\$68.949	\$62.257	\$148.848	\$27.868

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 51

Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en camión sencillo

		DESTINO ORIGEN	Cartagena	Buenaventura	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio
	Nobsa (Val. viaje)		\$2.559.955	\$2.402.947	\$1.991.879	\$613.090	\$1.970.659	\$1.123.490	\$1.590.445	\$2.716.155	\$1.148.288
	Nobsa (Val. tonelada)		\$284.439	\$266.994	\$221.319	\$68.121	\$218.962	\$124.832	\$176.716	\$301.795	\$127.587

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 52

Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en doble troque

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Nobsa (Val. viaje)</b>	\$3.144.369	\$2.882.190	\$2.390.921	\$754.023	\$2.418.065	\$1.377.038	\$1.927.818	\$3.297.456	\$1.369.459
<b>Nobsa (Val. tonelada)</b>	\$196.523	\$180.136	\$149.432	\$47.126	\$151.129	\$86.064	\$120.488	\$206.091	\$85.591

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 53

Matriz de fletes Holcim: valor viaje y tonelada en C3S3

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Nobsa (Val. viaje)</b>	\$4.907.023	\$4.503.273	\$3.727.632	\$1.192.802	\$3.796.563	\$2.141.713	\$3.012.112	\$5.123.568	\$2.147.430
<b>Nobsa (Val. tonelada)</b>	\$144.324	\$132.449	\$109.636	\$35.082	\$111.663	\$62.991	\$88.591	\$150.693	\$63.159

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 54

Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada en camión sencillo

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Suesca (Val. viaje)</b>	\$2.349.700	\$1.987.451	\$1.495.163	\$405.000	\$1.735.180	\$950.503	\$1.373.449	\$2.437.948	\$760.111
<b>Suesca (Val. tonelada)</b>	\$261.077	\$220.827	\$166.129	\$45.000	\$192.797	\$105.611	\$152.605	\$270.883	\$84.456

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 55

Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada en doble troque

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Suesca (Val. viaje)</b>	\$2.851.104	\$2.382.413	\$1.798.131	\$475.200	\$2.108.491	\$1.220.554	\$1.640.595	\$2.959.597	\$884.338
<b>Suesca (Val. tonelada)</b>	\$178.194	\$148.900	\$112.383	\$29.700	\$131.780	\$76.284	\$102.537	\$184.974	\$55.271

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 56

Matriz de fletes Cetesa: valor viaje y tonelada C3S3

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Suesca (Val. viaje)</b>	\$4.383.128	\$3.804.724	\$2.883.923	\$867.000	\$3.384.007	\$1.823.081	\$2.636.958	\$4.540.643	\$1.467.714
<b>Suesca (Val. tonelada)</b>	\$128.915	\$111.903	\$84.821	\$25.500	\$99.529	\$53.649	\$77.557	\$133.548	\$43.168

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 57

Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en camión sencillo

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Yumbo (Val. viaje)</b>	\$3.130.514	\$565.473	\$1.415.601	\$1.492.180	\$270.000	\$2.278.639	\$588.571	\$3.233.628	\$2.026.914
<b>Yumbo (Val. tonelada)</b>	\$347.834	\$62.830	\$157.289	\$165.797	\$30.000	\$253.182	\$65.396	\$359.292	\$225.212

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 58

Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en doble troque

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Yumbo (Val. viaje)</b>	\$3.732.452	\$685.778	\$1.710.755	\$1.823.371	\$432.000	\$2.739.052	\$751.669	\$3.852.761	\$2.420.986
<b>Yumbo (Val. tonelada)</b>	\$233.278	\$42.861	\$106.922	\$113.960	\$27.000	\$171.190	\$46.979	\$240.797	\$151.311

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 59

Matriz de fletes San Marcos: valor viaje y tonelada en C3S3

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Yumbo (Val. viaje)</b>	\$5.804.178	\$1.087.241	\$2.669.307	\$2.863.807	\$816.000	\$4.271.069	\$1.191.525	\$5.973.238	\$3.785.134
<b>Yumbo (Val. tonelada)</b>	\$170.711	\$31.977	\$78.509	\$84.229	\$24.000	\$125.619	\$35.044	\$175.683	\$111.327

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 60

Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en camión sencillo

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Galapa (Val. viaje)</b>	\$337.824	\$3.481.207	\$2.044.761	\$2.680.948	\$3.233.628	\$1.671.135	\$2.668.692	\$270.000	\$3.231.817
<b>Galapa (Val. tonelada)</b>	\$37.536	\$386.800	\$227.195	\$297.883	\$359.292	\$185.681	\$296.521	\$30.000	\$359.090

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 61

Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en doble troque

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Galapa (Val. viaje)</b>	\$426.181	\$4.121.657	\$2.405.039	\$3.244.717	\$3.852.761	\$2.027.736	\$3.166.251	\$400.000	\$3.858.864
<b>Galpa (Val. tonelada)</b>	\$26.639	\$257.603	\$150.314	\$202.794	\$240.797	\$126.733	\$197.890	\$25.000	\$241.158

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 62

Matriz de fletes Ultracem: valor viaje y tonelada en C3S3

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Galapa (Val. viaje)</b>	\$688.154	\$6.386.046	\$3.728.657	\$5.060.843	\$5.973.238	\$3.169.226	\$4.903.980	\$680.000	\$6.007.812
<b>Galapa (Val. tonelada)</b>	\$20.239	\$187.824	\$109.666	\$148.848	\$175.683	\$93.212	\$144.234	\$20.000	\$176.700

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 63

Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en camión sencillo

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Sogamoso (Val. viaje)</b>	\$2.559.955	\$2.402.497	\$1.991.879	\$613.090	\$1.970.659	\$1.123.490	\$1.590.445	\$2.716.155	\$1.148.288
<b>Sogamoso (Val. tonelada)</b>	\$284.439	\$266.994	\$221.319	\$68.121	\$218.962	\$124.832	\$176.716	\$301.795	\$127.587

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 64

Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en doble troque

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Sogamoso (Val. viaje)</b>	\$3.144.369	\$2.882.190	\$2.390.921	\$754.023	\$2.418.065	\$1.377.038	\$1.927.818	\$3.297.456	\$1.369.459
<b>Sogamoso (Val. tonelada)</b>	\$196.523	\$180.136	\$149.432	\$47.126	\$151.129	\$86.064	\$120.488	\$206.091	\$85.591

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

Tabla 65

Matriz de fletes Cementos del Oriente: valor viaje y tonelada en C3S3

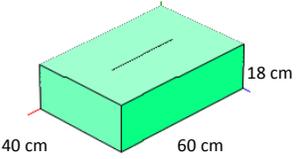
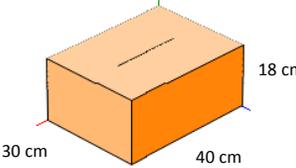
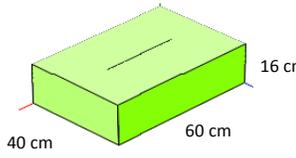
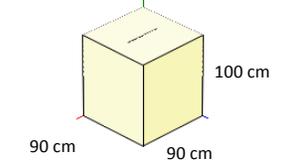
<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Buenaventura</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>
<b>Sogamoso (Val. viaje)</b>	\$4.907.023	\$4.503.273	\$3.727.632	\$1.192.802	\$3.796.563	\$2.141.713	\$3.012.112	\$5.123.568	\$2.147.430
<b>Sogamoso (Val. tonelada)</b>	\$144.324	\$134.449	\$109.636	\$35.082	\$111.663	\$62.991	\$88.591	\$150.693	\$63.159

Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de SICE TAC

## 9.5. CUBICAJE

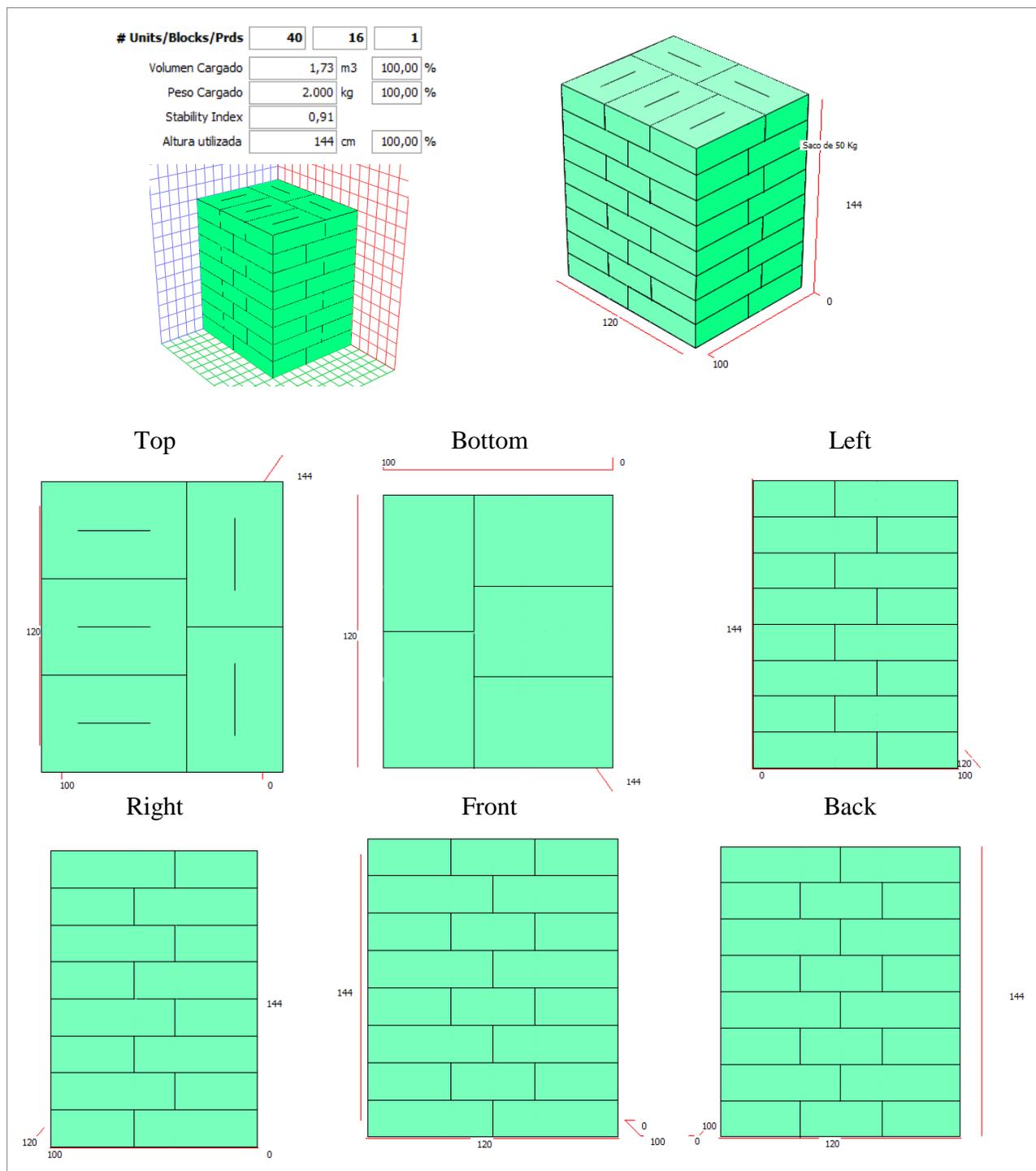
El cubicaje es una simulación de las cantidades y posiciones de producto que optimizan el espacio de un contenedor (Bernal Gonzales, 2013). En la Tabla 43 se presenta la simulación para los sacos de cemento en sus diferentes presentaciones: 50 Kg, 25 Kg, 42,5 Kg y *big bag*. En las Ilustraciones 12 a 26 se muestra para cada saco la conformación de la unidad de carga y el cubicaje de las unidades de carga en los vehículos más comunes: camión sencillo, camión doble troque y tracto-mula de 3 ejes. El cubicaje se realizó con la herramienta Cube IQ.

Tabla 66  
Cubicaje cemento en sacos

Producto	Dimensiones	Imagen del producto
<p>Saco de 50 Kg</p> 	<p>Longitud <input type="text" value="60"/> cm      Peso <input type="text" value="50"/> kg</p> <p>Ancho <input type="text" value="40"/> cm      Peso Neto <input type="text" value="50"/> kg</p> <p>Altura <input type="text" value="18"/> cm      Volumen <input type="text" value="0,04"/> m<sup>3</sup></p>	
<p>Saco de 25 Kg</p> 	<p>Longitud <input type="text" value="40"/> cm      Peso <input type="text" value="25"/> kg</p> <p>Ancho <input type="text" value="30"/> cm      Peso Neto <input type="text" value="25"/> kg</p> <p>Altura <input type="text" value="18"/> cm      Volumen <input type="text" value="0,02"/> m<sup>3</sup></p>	
<p>Saco de 42,5 Kg</p> 	<p>Longitud <input type="text" value="60"/> cm      Peso <input type="text" value="42,5"/> kg</p> <p>Ancho <input type="text" value="40"/> cm      Peso Neto <input type="text" value="42,5"/> kg</p> <p>Altura <input type="text" value="16"/> cm      Volumen <input type="text" value="0,04"/> m<sup>3</sup></p>	
<p>Big bag</p> 	<p>Longitud <input type="text" value="90"/> cm      Peso <input type="text" value="1.000"/> kg</p> <p>Ancho <input type="text" value="90"/> cm      Peso Neto <input type="text" value="1.000"/> kg</p> <p>Altura <input type="text" value="100"/> cm      Volumen <input type="text" value="0,81"/> m<sup>3</sup></p>	

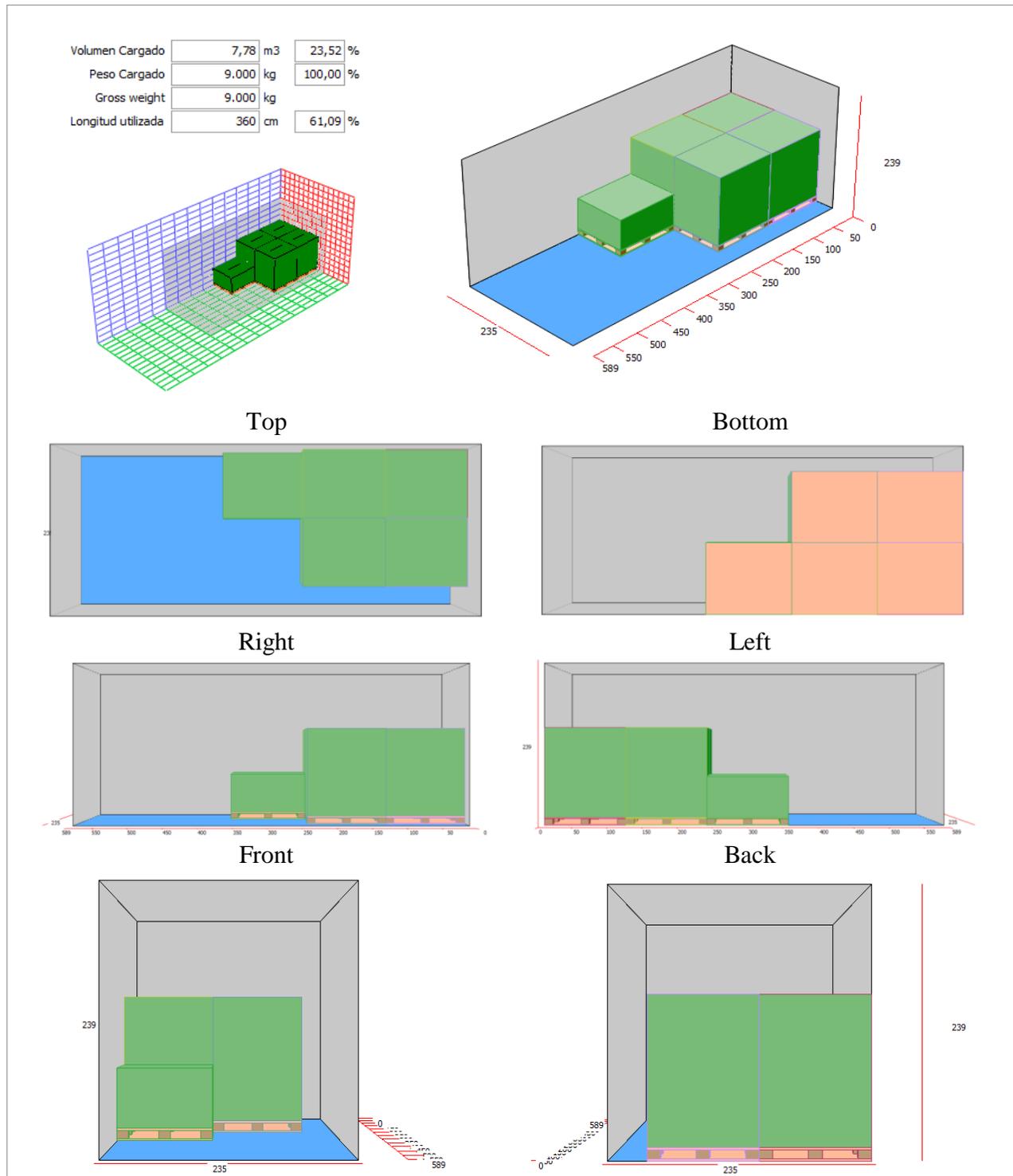
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 12  
Cubicaje de sacos de 50 Kg en pallet de 1m x 1,20m



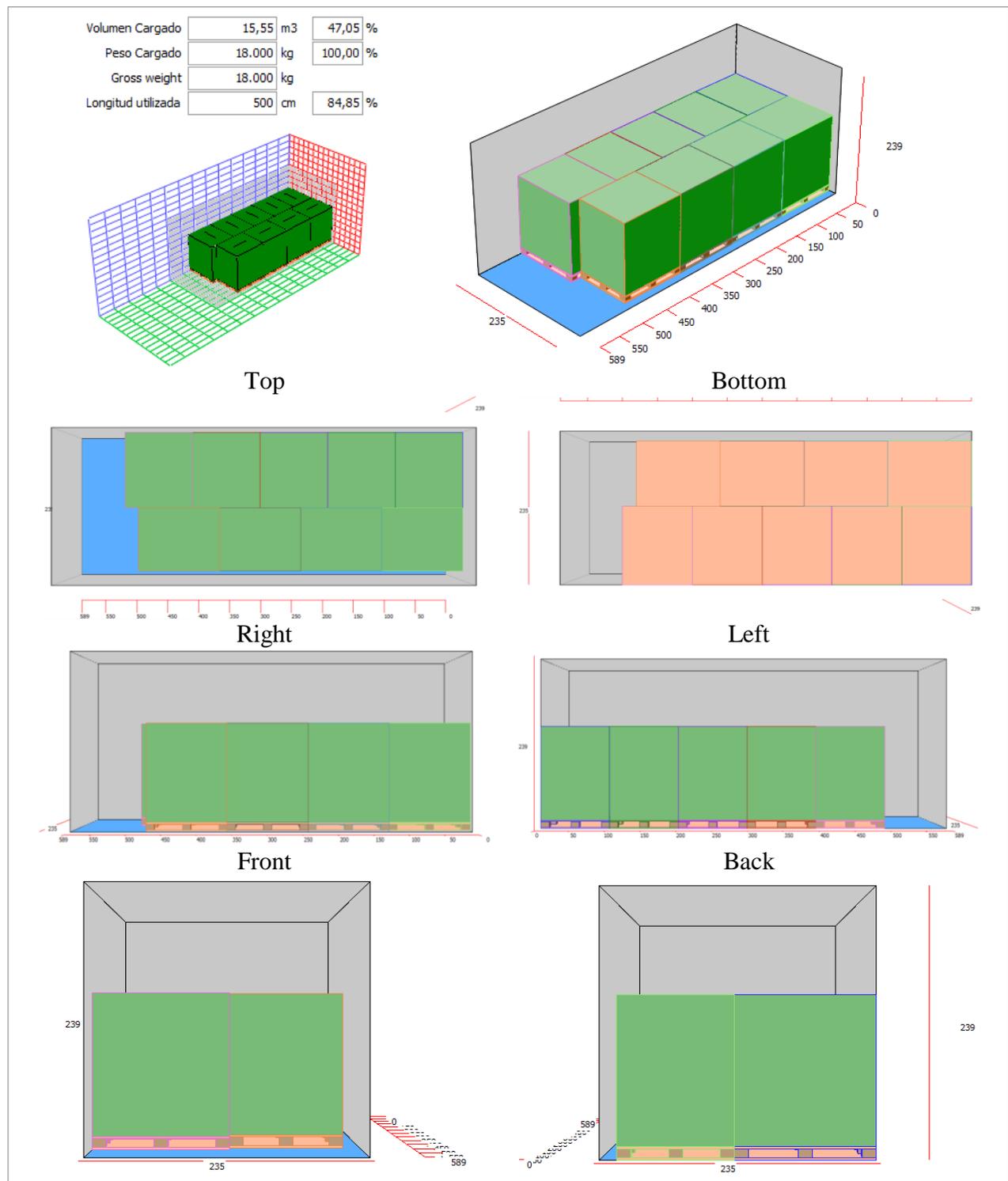
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 13  
Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en camión sencillo



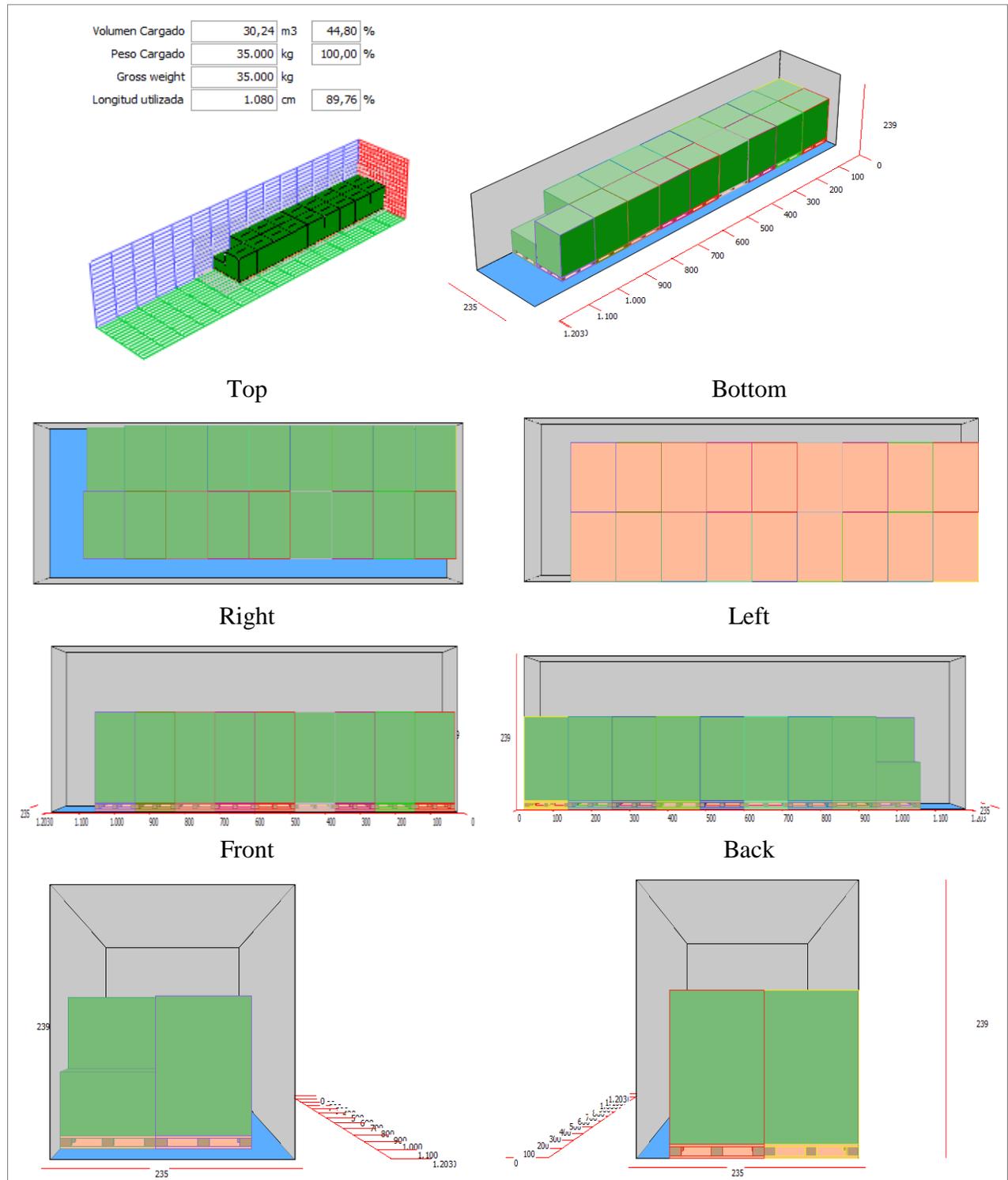
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 14  
 Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en camión doble troque



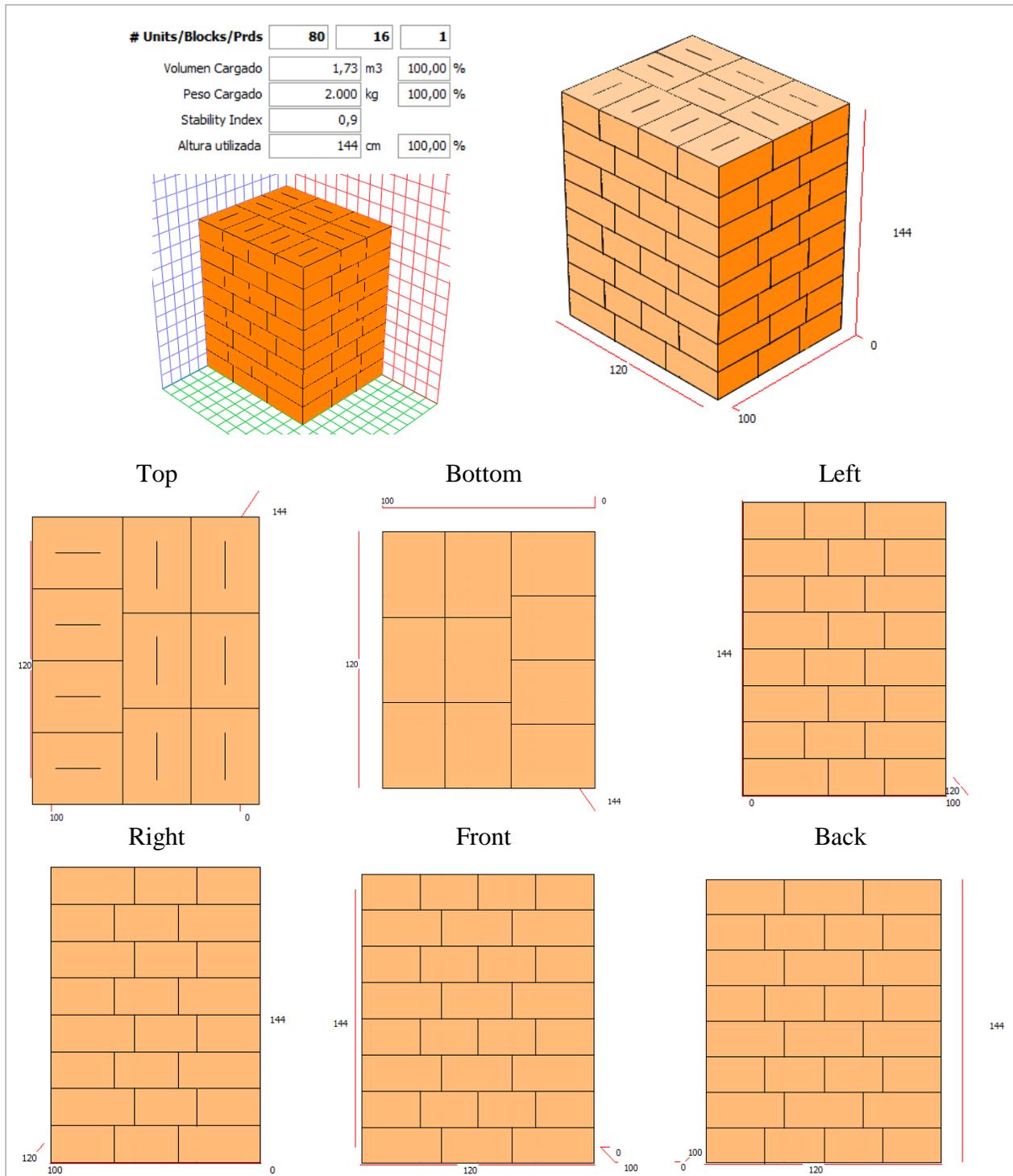
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 15  
 Cubicaje de pallet de sacos de 50 Kg en tracto camión C3S3



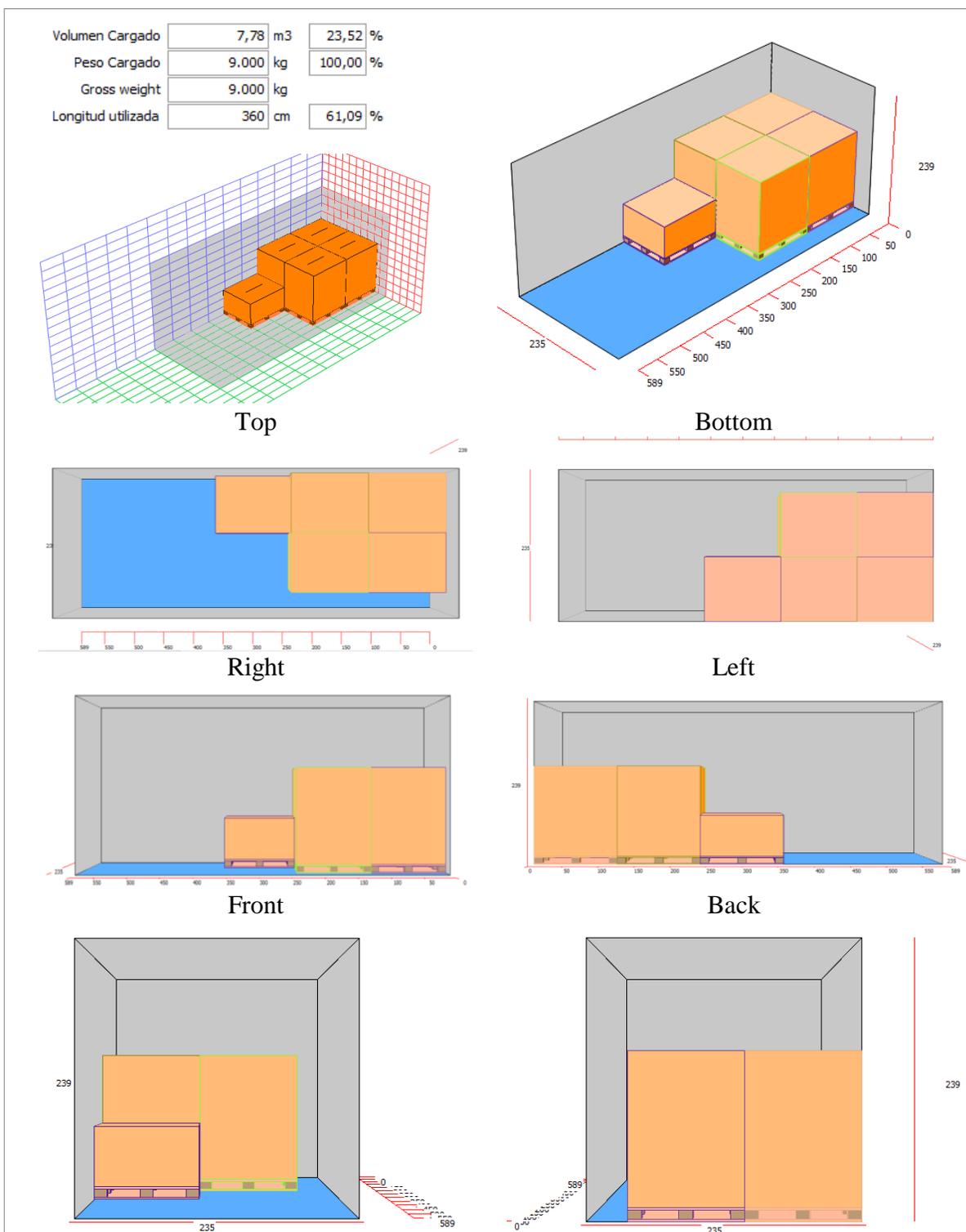
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 16  
Cubicaje de saco de 25 Kg en pallet de 1 m x 1,20 m



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

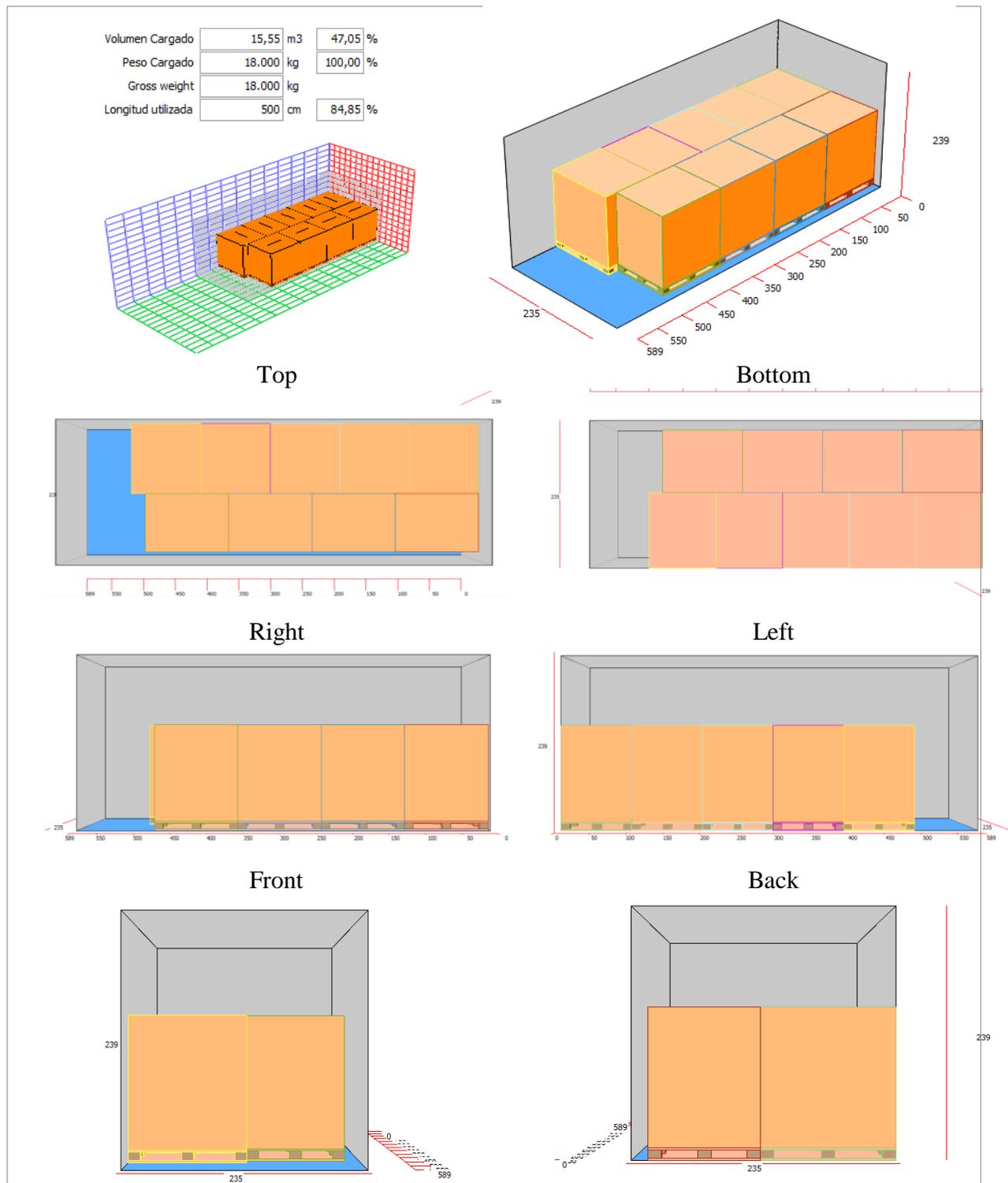
Ilustración 17  
 Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en camión sencillo



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

# Ilustración 18

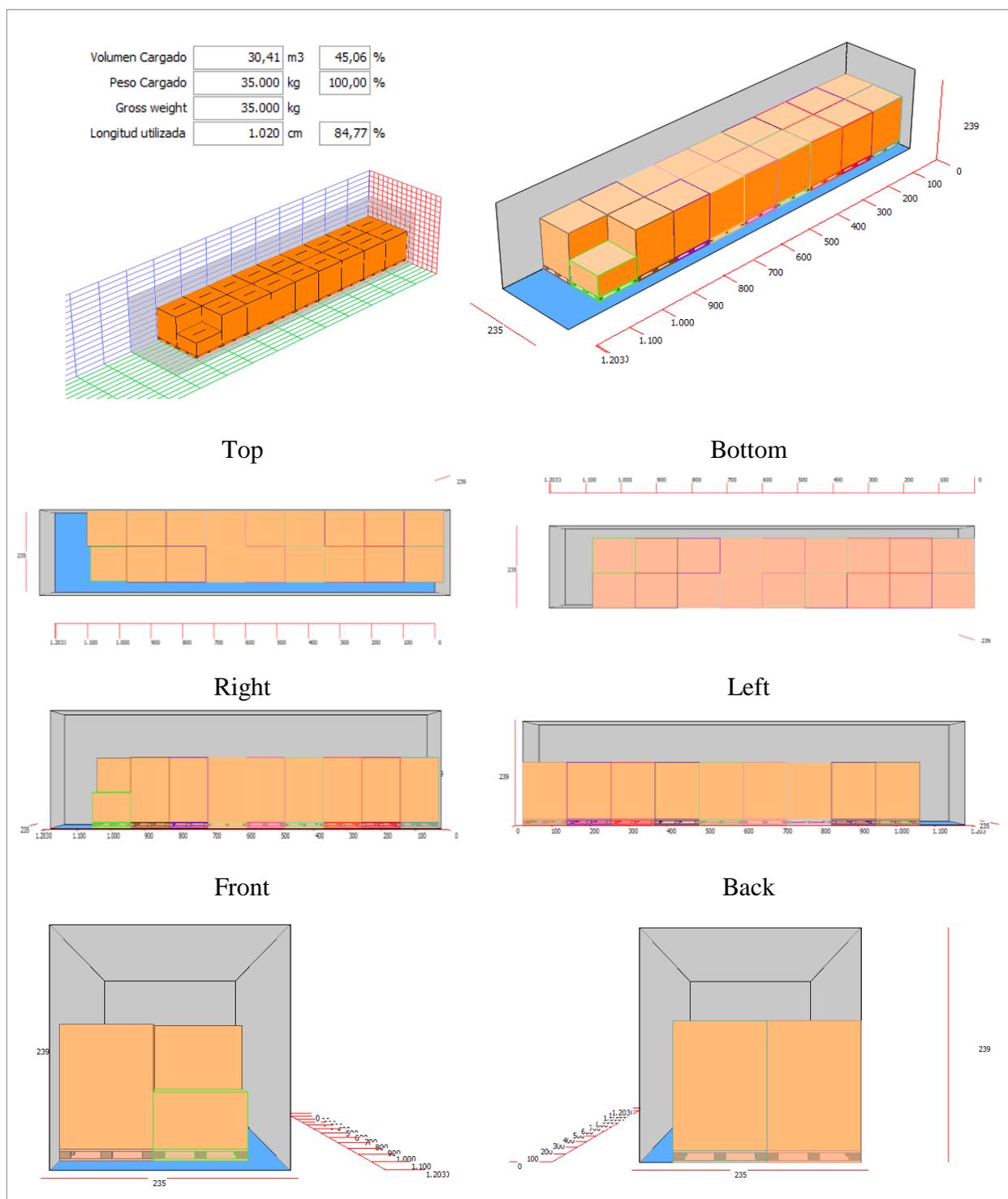
## Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en camión doble troque



Fuente: elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

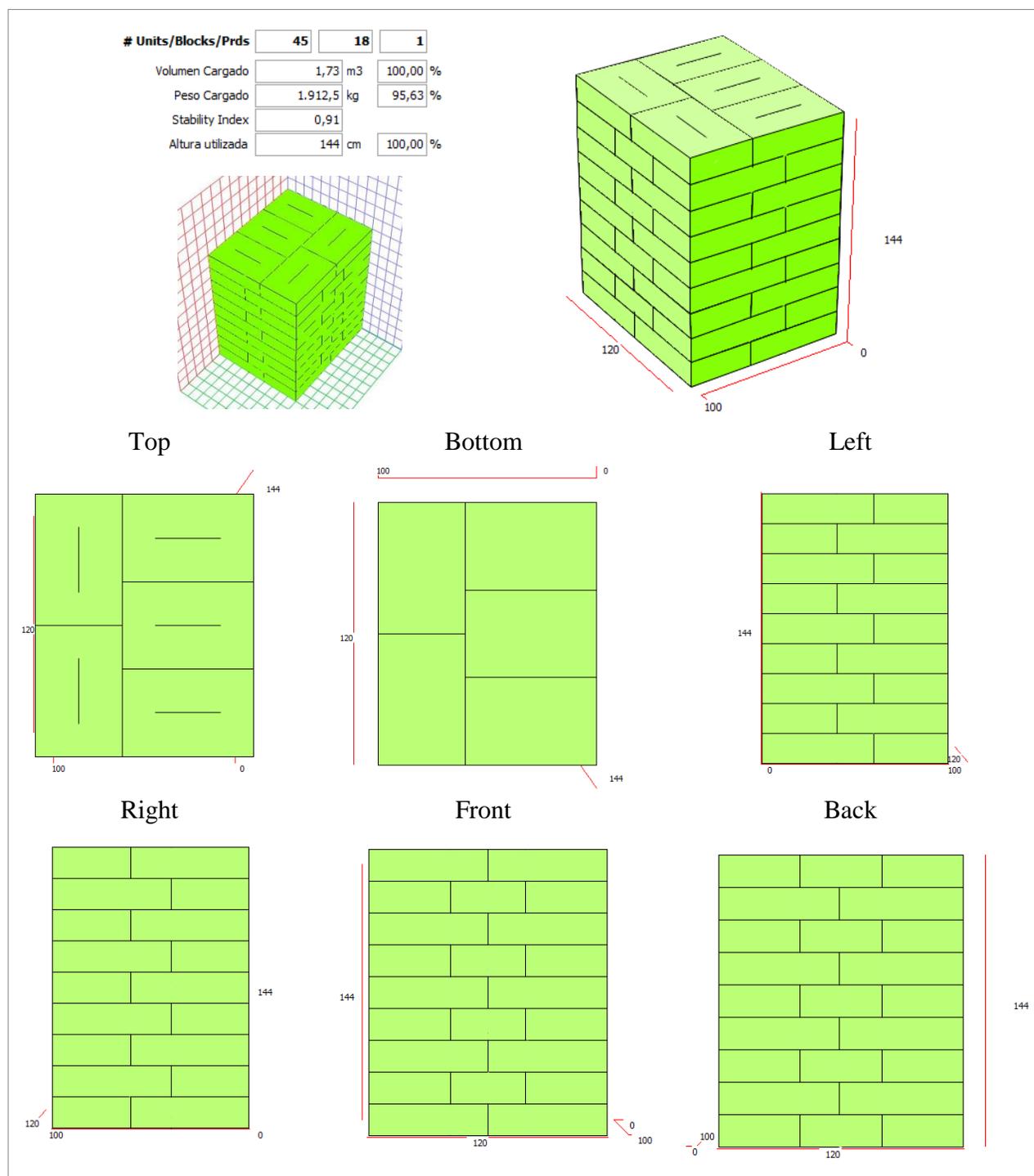
# Ilustración 19

## Cubicaje de pallet de sacos de 25 Kg en tracto camión C3S3



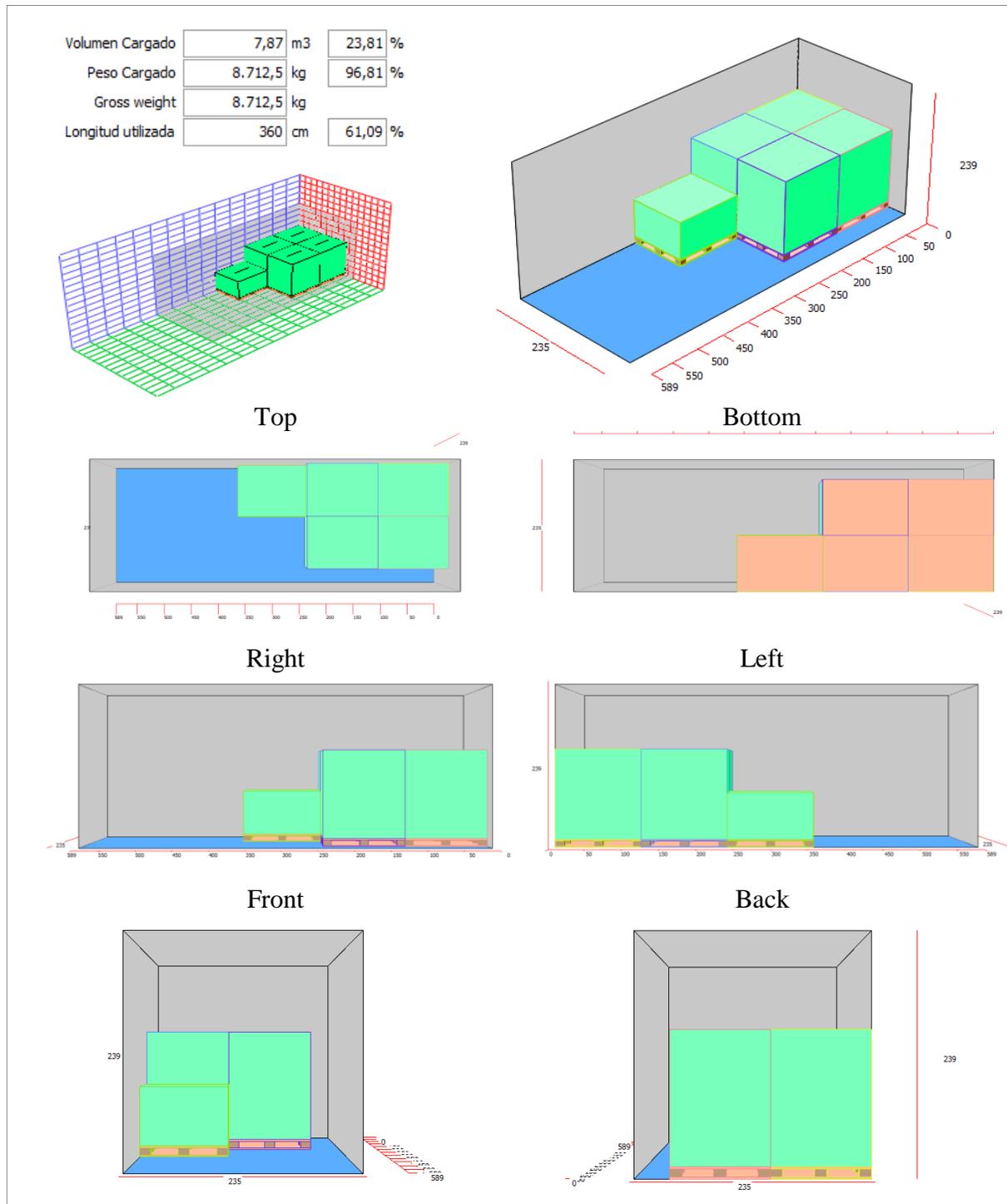
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 20  
Cubicaje de saco de 42,5 Kg en pallet de 1m x 1,20 m



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

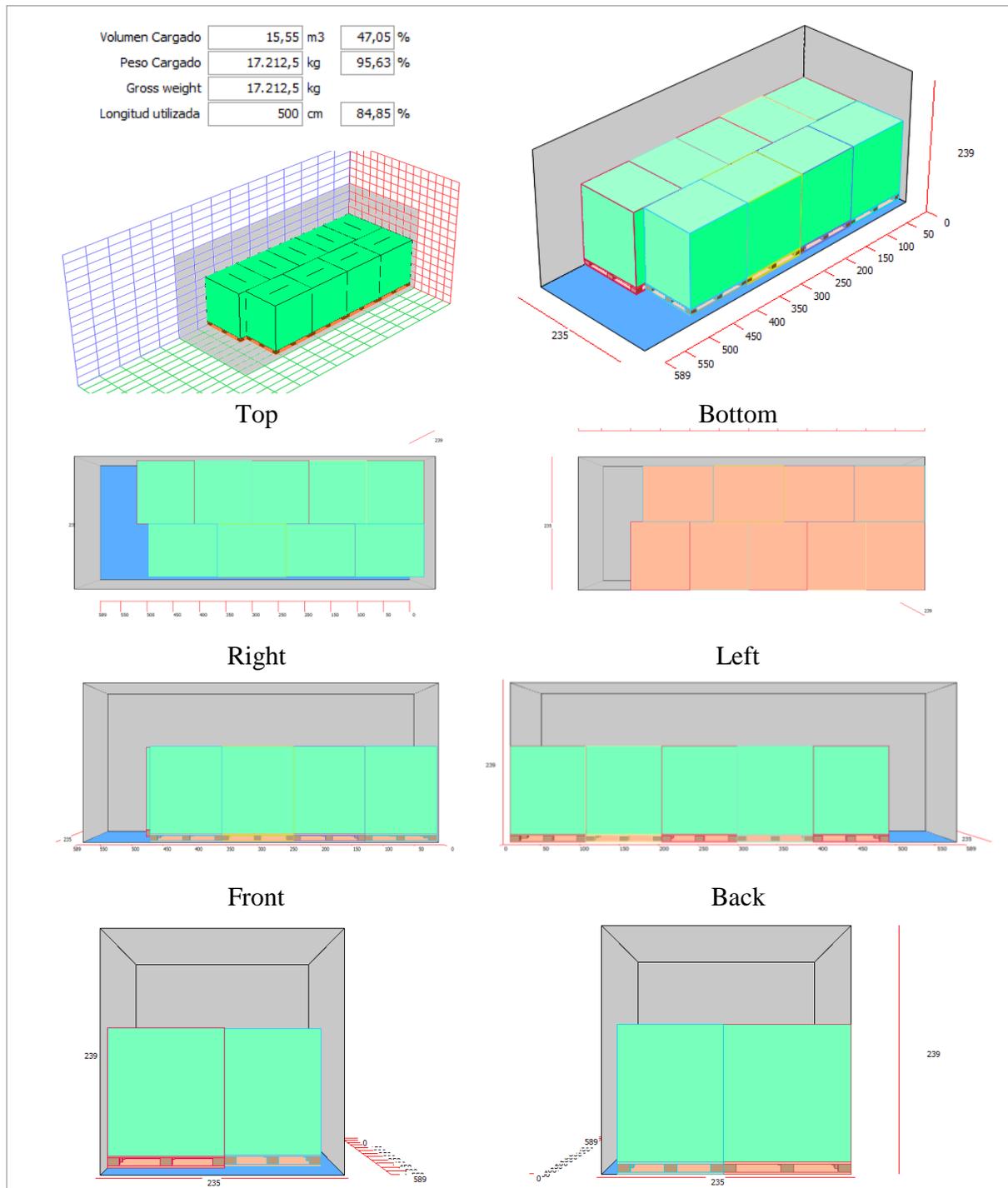
Ilustración 21  
Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en camión sencillo



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

## Ilustración 22

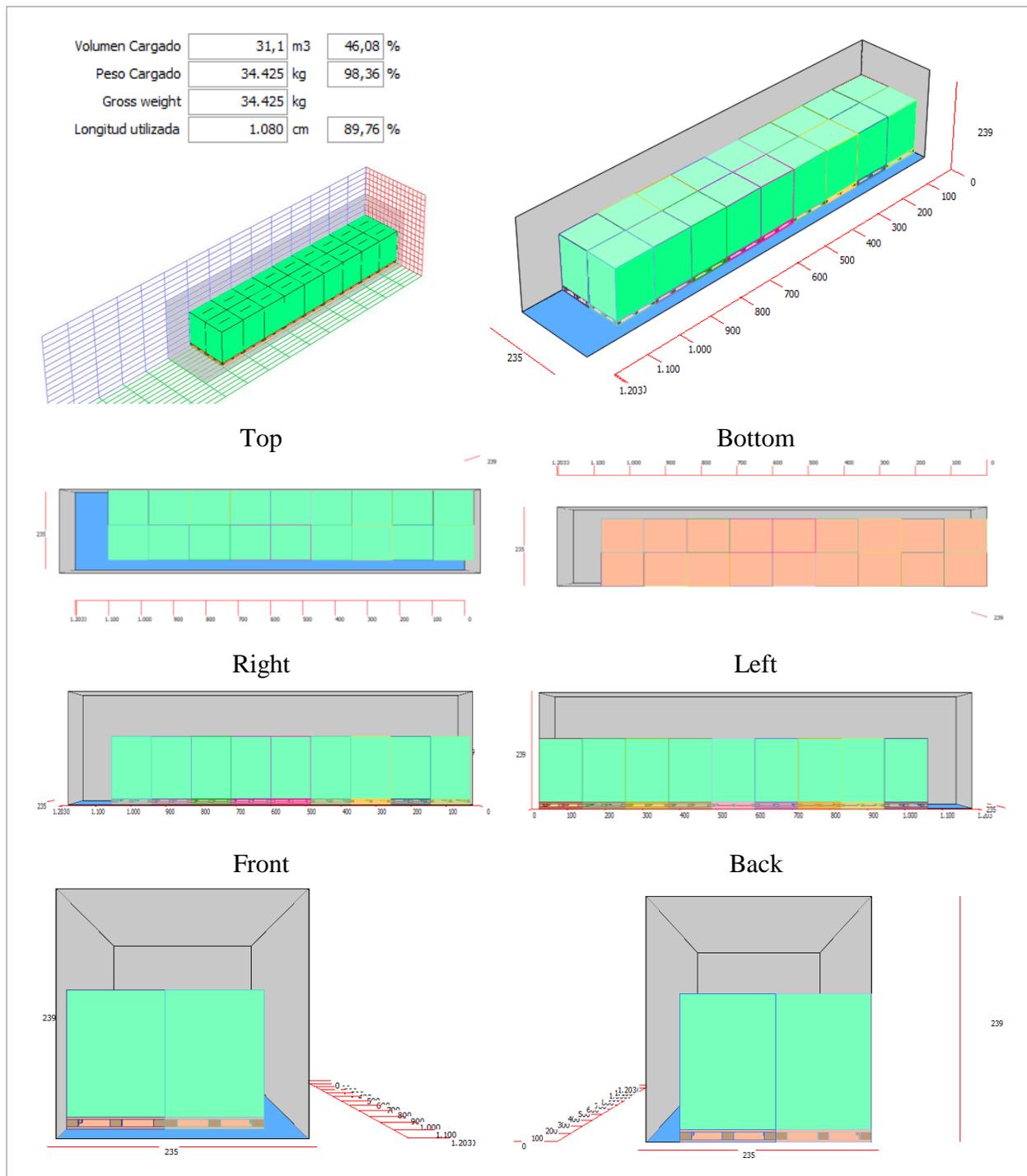
### Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en camión doble troque



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

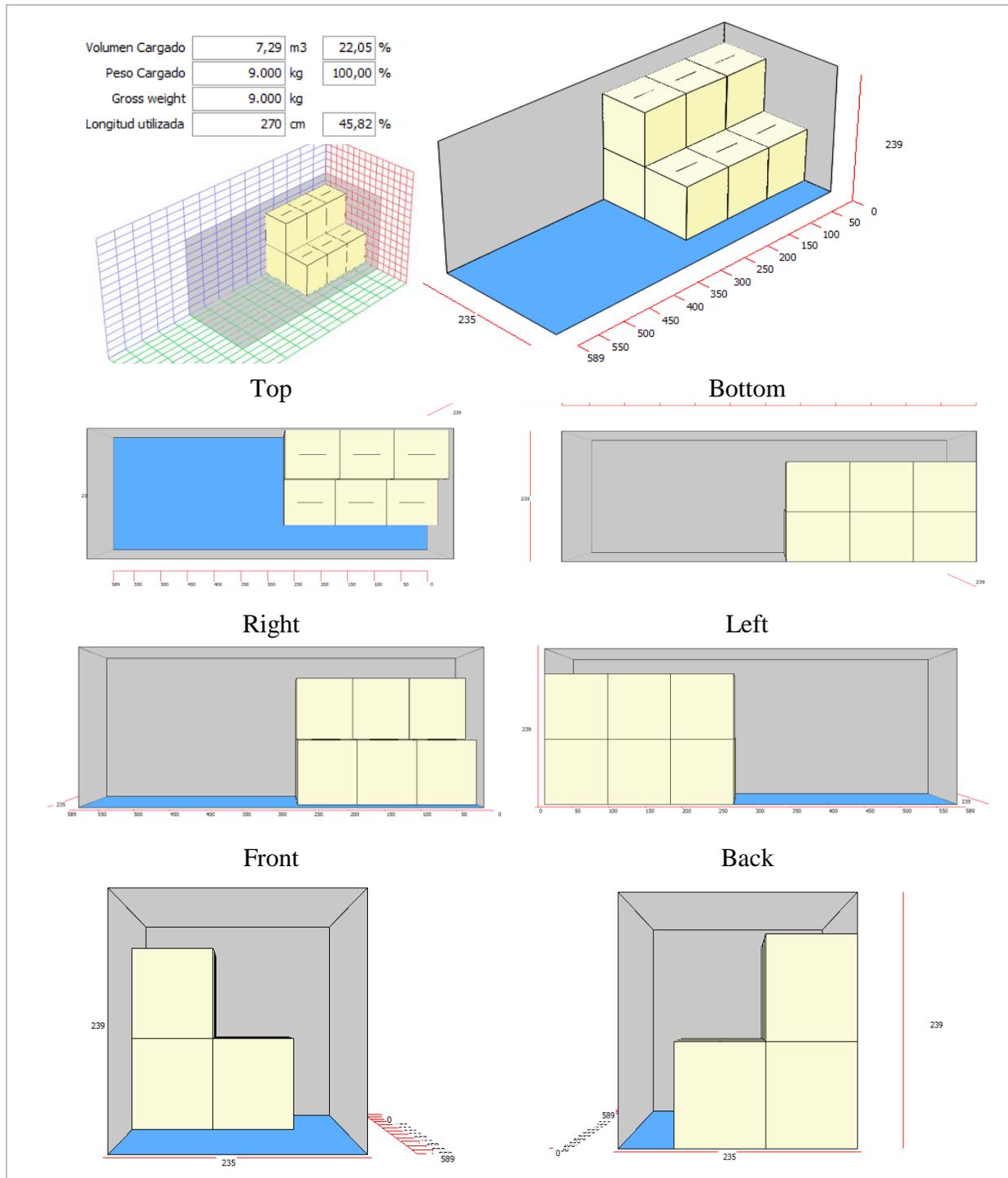
## Ilustración 23

### Cubicaje de pallet de sacos de 42,5 Kg en tracto camión C3S3



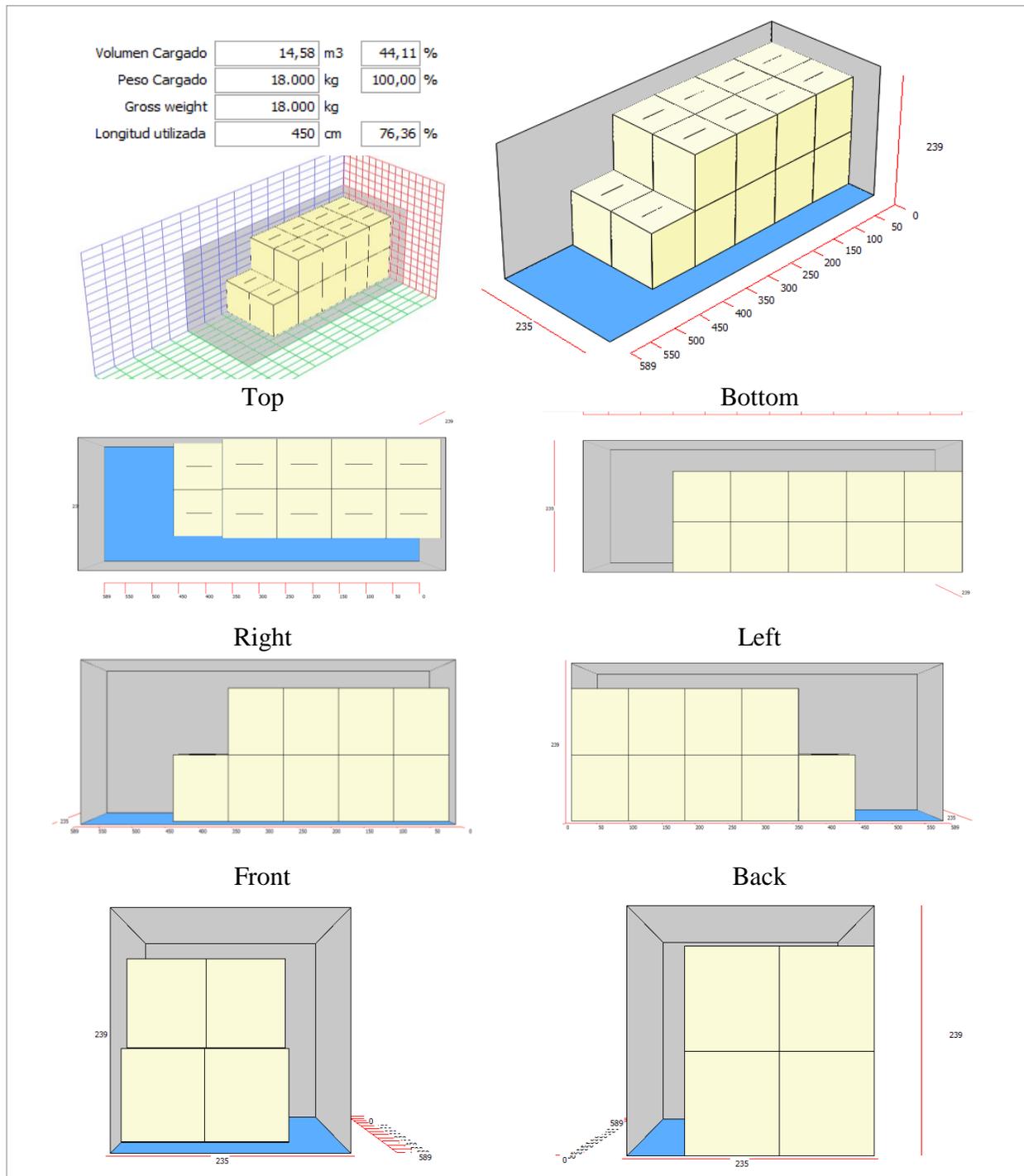
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 24  
Cubicaje de Big Bag en camión sencillo



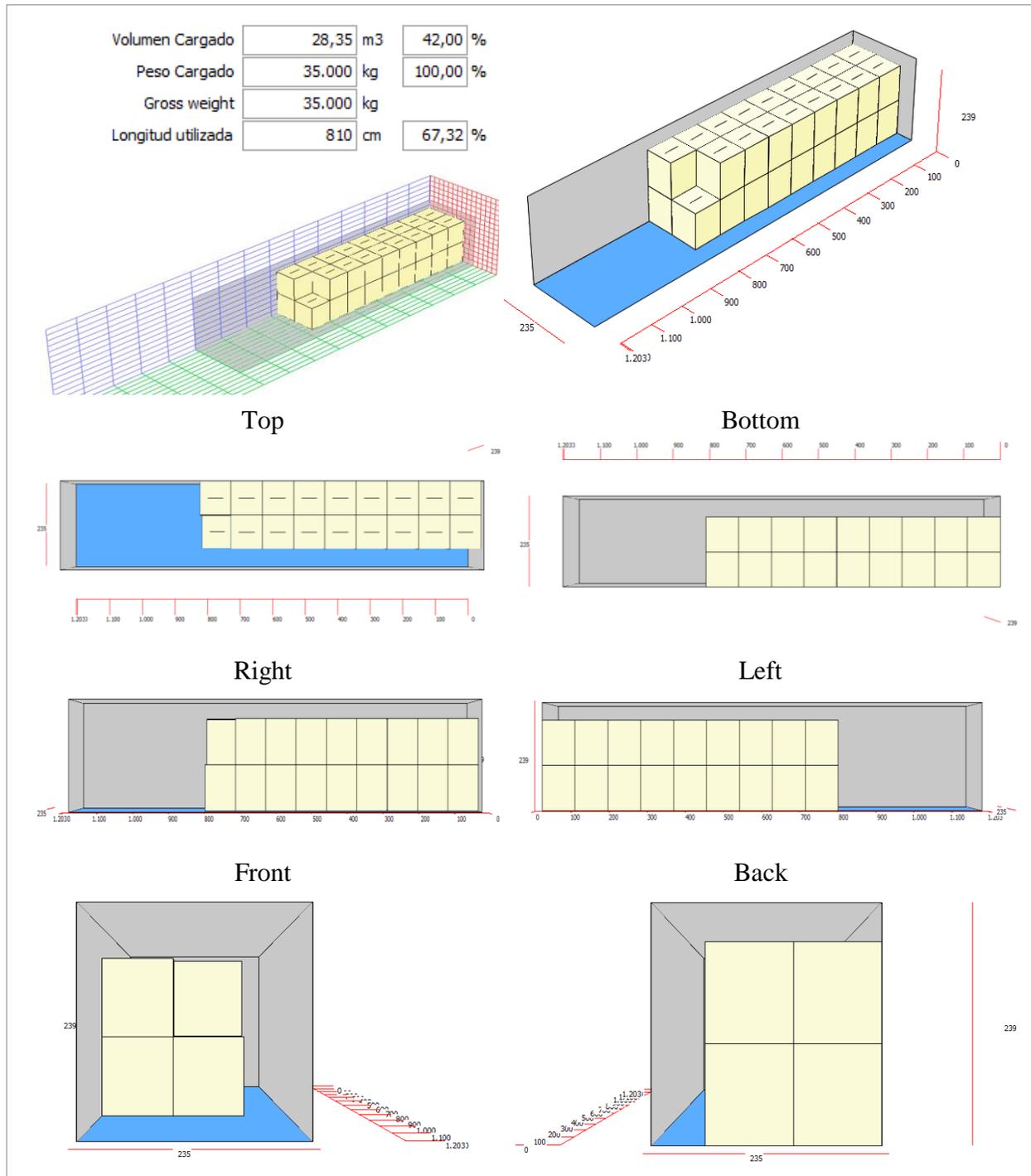
Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 25  
Cubicaje Big Bag en camión doble troque



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

Ilustración 26  
Cubicaje de Big Bag en tracto camión C3S3



Fuente: Elaboración propia basado en cálculos de simulaciones de la herramienta Cube IQ

## 10. CASO DE ESTUDIO: CEMENTOS DEL FUTURO SA

La gerencia de la empresa CEMENTOS DEL FUTURO SA, ubicada en Colombia, enfrenta el difícil problema de distribuir a sus clientes de acuerdo con la capacidad de fabricación de las plantas localizadas en todo el país. La gerencia ha decidido enfocarse en cómo utilizar mejor la capacidad de sus plantas en vista de las diferencias en los costos de fabricación y transporte que existen actualmente.

La gerencia es consciente que este estudio puede dar como resultado un cambio significativo de la producción en las plantas o quizás el cierre de alguna de ellas. CEMENTOS DEL FUTURO SA fabrica 3 tipos de cemento gris. El primero es el cemento gris de uso general (CEMENTO A) que se vende a granel y en sacos de 50 Kg. El segundo es el cemento de uso estructural (CEMENTO B) que se vende a granel y en sacos de 42,5 Kg y finalmente cemento gris de uso petrolero (CEMENTO C) que se vende a granel y en presentaciones de 42,5 Kg.

CEMENTOS DEL FUTURO SA surgió de la fusión de diferentes empresas cementeras del país y actualmente cuenta con el 50% de participación del mercado. Durante los últimos años la demanda ha venido creciendo en promedio 7% anual y se espera que durante los próximos 5 años crezca entre el 15% y 20% debido a los proyectos de infraestructura del país. No obstante, puesto que el sector está compuesto principalmente por 3 empresas, se presenta una fuerte competencia. Esta competencia ha afectado las políticas de precios, ya que el producto no presenta mayor diferenciación, generando erosión de la rentabilidad. Así pues, CEMENTOS DEL FUTURO SA busca la eficiencia en costos de operación para poder afrontar la competencia basada en precios.

El cemento gris de uso general se vende a un precio promedio de 340.000 COP la TON. El saco de 50 Kg se vende en un precio de 17.500 COP. El cemento estructural se vende a un precio promedio de 342.000 COP la TON. El saco de 42,5 Kg se vende a 15.000 COP. Finalmente, el cemento de uso petrolero se vende en promedio en 354.000 COP la Ton y el saco de 42,5 Kg se vende en 15.500 COP.

La compañía cuenta con 9 plantas ubicadas en Cartagena, Sincelejo, Barranquilla, Yumbo, Sogamoso, San Gil y 3 plantas ubicadas en Antioquia: Río Claro, Nare y el Cairo. Adicionalmente cuenta con 2 centros de distribución, uno ubicado en Cartagena y el otro ubicado en Medellín. Aunque las plantas se enfocan en cubrir la demanda de las regiones más cercanas, se manejan exportaciones de los productos puesto que la compañía tiene sucursales en Estados Unidos y el Caribe. La planta de San Gil se dedica exclusivamente a la producción de cemento petrolero, mientras que el resto de las plantas pueden producir cualquier tipo de cemento.

De acuerdo a estudios en el área de almacenamiento, se determina que el ciclo de rotación de inventario de los centros de distribución es de 3 días, esto significa que cada tres días el producto almacenado es totalmente renovado. La Tabla 67 presenta la demanda cubierta por la empresa en los diferentes centros de consumo del país por un ciclo equivalente a 3 días.

Tabla 67

Caso de estudio: distribución de la demanda en toneladas por ciclo de 3 días

Destino	Empacado	Cem A	Cem B	Cem C	Granel	Cem A	Cem B	Cem C
<b>Barranquilla</b>	<b>5.035</b>	3.273	1.762	0	<b>1.100</b>	715	385	0
<b>Cartagena</b>	<b>2.135</b>	1.153	982	0	<b>819</b>	442	377	0
<b>Villavicencio</b>	<b>4.221</b>	1.266	844	2.110	<b>473</b>	142	95	236
<b>Pereira</b>	<b>5.854</b>	4.215	1.639	0	<b>1.268</b>	913	355	0
<b>Bucaramanga</b>	<b>477</b>	143	95	143	<b>1.407</b>	422	281	422
<b>Cali</b>	<b>1.401</b>	827	575	0	<b>1.155</b>	681	474	0
<b>Medellín</b>	<b>166</b>	101	65	0	<b>1.452</b>	886	566	0
<b>Bogotá</b>	<b>2.549</b>	1.402	892	255	<b>5.324</b>	2.928	1.863	532
<b>Sincelejo</b>	<b>3.199</b>	2.399	800	0	<b>169</b>	127	42	0
<b>Exterior</b>	<b>0</b>	0	0	0	<b>13.425</b>	3.356	8.726	1.342
<b>TOTAL</b>		<b>14.778</b>	<b>7.654</b>	<b>2.508</b>		<b>10.612</b>	<b>13.164</b>	<b>2.533</b>

Fuente: Elaboración propia

El último reporte nacional de producción muestra la capacidad instalada de las plantas por tipo de producto. Esta información se detalla en la Tabla 68.

Tabla 68

Caso de estudio: capacidad de producción en toneladas por ciclo de 3 días

Planta	Cem A Saco	Cem B Saco	Cem C Saco	Cem A Granel	Cem B Granel	Cem C Granel
El Cairo	584	387	109	451	578	110
Rio Claro	2.876	1.908	535	2.224	2.848	540
Sogamoso	1.903	1.263	354	1.471	1.884	357
Yumbo	2.292	1.521	426	1.772	2.270	431
San Gil	0	0	147	0	0	100
Tolú Viejo	1.968	1.306	366	1.522	1.948	370
Sabana Grande	3.655	2.425	680	2.826	3.618	687
Puerto Nare	541	359	101	418	535	102
Cartagena	14.943	9.915	2.660	11.554	14.795	2.681
<b>TOTAL</b>	<b>28.762</b>	<b>19.084</b>	<b>5.377</b>	<b>22.238</b>	<b>28.476</b>	<b>5.377</b>

Fuente: Elaboración propia

El reporte del área de inventarios indica la capacidad de almacenamiento de los 2 centros de distribución que utiliza la empresa. Esta información se muestra en la Tabla 69.

Tabla 69

Caso de estudio: Capacidad de almacenamiento

Centro de distribución	Cemento A Saco	Cemento B Saco	Cemento C Saco	Cemento A Granel	Cemento B Granel	Cemento C Granel
CD Cartagena	3.731	2.475	694	1.981	2.537	481
CD Medellín	3.244	2.152	603	1.585	2.030	385

Fuente: Elaboración propia

Las diferencias, tanto en tecnologías empleadas en las plantas, como en los costos locales en materias primas y mano de obra, dieron lugar a diferencias en el costo de producción del cemento en cada planta. En la Tabla 70 se presenta el costo de producción de una Tonelada de cemento que se venderá en presentación a granel para cada uno de los productos ofrecidos por la compañía. Adicionalmente, en la Tabla 71 se presenta el costo de producción de una Tonelada de cemento que se venderá en presentación de sacos para cada uno de los productos ofrecidos por la compañía.

Tabla 70

Caso de estudio: costo de producción tonelada de cemento a granel

Planta de producción	Costo de producción Cemento A Ton	Costo de producción Cemento B Ton	Costo de producción Cemento C Ton
El Cairo	\$143.744,74	\$150.931,98	\$155.244,32
Rio Claro	\$145.173,62	\$152.432,30	\$156.787,51
Sogamoso	\$145.393,45	\$152.663,12	\$157.024,92
Yumbo	\$145.459,39	\$152.732,36	\$157.096,15
San Gil	NA	NA	\$157.867,74
Tolú Viejo	\$146.459,61	\$153.782,59	\$158.176,37
Sabana Grande	\$146.459,61	\$153.782,59	\$158.176,37
Puerto Nare	\$146.030,94	\$153.332,49	\$157.713,42
Cartagena	\$143.744,74	\$150.931,98	\$155.244,32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71

Caso de estudio: costo de producción tonelada de cemento en sacos

Planta de producción	Costo de producción Cemento A Ton	Costo de producción Cemento B Ton	Costo de producción Cemento C Ton
El Cairo	\$153.806,88	\$161.497,22	\$166.111,43
Rio Claro	\$155.335,77	\$163.102,56	\$167.762,63
Sogamoso	\$155.570,99	\$163.349,54	\$168.016,67
Yumbo	\$155.641,55	\$163.423,63	\$168.092,88
San Gil	NA	NA	\$168.918,48
Tolú Viejo	\$156.711,78	\$164.547,37	\$169.248,72
Sabana Grande	\$156.711,78	\$164.547,37	\$169.248,72
Puerto Nare	\$156.253,11	\$164.065,76	\$168.753,36
Cartagena	\$153.806,88	\$161.497,22	\$166.111,43

Fuente: Elaboración propia

Al considerar cómo usar mejor la capacidad de sus plantas, la gerencia de CEMENTOS DEL FUTURO SA necesita tomar en cuenta el costo de envío del producto de una región a otra. La Tabla 72 muestra el costo de transportar el producto de cada planta a cada destino por valor de viaje en vehículo de configuración 3S3.

Tabla 72

Caso de estudio: matriz de fletes, valor de viaje 3S3 (tracto-camión)

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>CDM</b>	<b>Cartagena</b>	<b>Medellín</b>	<b>Bogotá</b>	<b>Cali</b>	<b>Bucaramanga</b>	<b>Pereira</b>	<b>Barranquilla</b>	<b>Villavicencio</b>	<b>CDC</b>	<b>Sincelejo</b>
<b>El Cairo</b>	\$1.020.000	\$3.559.844	\$1.020.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$3.559.844	\$2.638.300
<b>Rio claro</b>	\$1.122.000	\$3.559.844	\$1.122.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$3.559.844	\$2.638.300
<b>Sogamoso</b>	\$3.727.632	\$4.907.023	\$3.727.632	\$1.192.802	\$3.796.563	\$2.141.713	\$3.012.112	\$5.123.568	\$2.147.430	\$4.907.023	\$6.036.982
<b>Valle</b>	\$2.669.307	\$5.804.178	\$2.669.307	\$2.863.807	\$816.000	\$4.271.069	\$1.191.525	\$5.973.238	\$3.785.134	\$5.804.178	\$5.075.381
<b>San Gil</b>	\$2.644.788	\$3.358.779	\$2.644.788	\$2.298.744	\$4.271.069	\$1.190.000	\$3.188.792	\$3.169.226	\$3.355.394	\$3.358.779	\$3.488.121
<b>Tolú</b>	\$2.638.300	\$1.086.635	\$2.638.300	\$4.673.869	\$5.075.381	\$3.488.121	\$3.793.997	\$1.323.955	\$5.633.769	\$1.086.635	\$1.190.000
<b>Sabana Grande</b>	\$3.728.657	\$688.154	\$3.728.657	\$5.060.843	\$5.973.238	\$3.169.226	\$4.903.980	\$680.000	\$6.007.812	\$688.154	\$1.323.955
<b>Puerto Nare</b>	\$1.190.000	\$3.559.844	\$1.190.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$3.559.844	\$2.638.300
<b>Cartagena</b>	\$3.559.844	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$680.000	\$1.086.635
<b>CDC</b>	\$3.559.844	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	NA	\$1.086.635
<b>CDM</b>	NA	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$3.559.844	\$2.638.300

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta toda la información del caso, ¿cómo aconsejaría a CEMENTOS DEL FUTURO SA realizar la producción y distribución óptima del producto que permita satisfacer la demanda y alcanzar los objetivos de la alta gerencia? ¿Si se mantuvieran los costos de producción y transporte, cómo sería la producción y la distribución óptima del producto si la demanda se incrementa en 20%? La demanda proyectada se presenta en la Tabla 73.

Tabla 73

Caso de estudio: distribución de demanda proyectada 20% por tonelada por ciclo

Destino	Empacado	Cem A	Cem B	Cem C	Granel	Cem A	Cem B	Cem C
Barranquilla	<b>6.042</b>	3.927	2.115	0	<b>1.320</b>	858	462	0
Cartagena	<b>2.562</b>	1.384	1.179	0	<b>983</b>	531	452	0
Villavicencio	<b>5.065</b>	1.520	1.013	2.533	<b>567</b>	170	113	284
Pereira	<b>7.024</b>	5.057	1.967	0	<b>1.522</b>	1.096	426	0
Bucaramanga	<b>572</b>	172	114	172	<b>1.688</b>	506	338	506
Cali	<b>1.682</b>	992	689	0	<b>1.386</b>	818	568	0
Medellín	<b>199</b>	121	77	0	<b>1.743</b>	1.063	680	0
Bogotá	<b>3.059</b>	1.682	1.071	306	<b>6.388</b>	3.514	2.236	639
Sincelejo	<b>3.838</b>	2.879	960	0	<b>203</b>	152	51	0
Exterior	<b>0</b>	0	0	0	<b>16.110</b>	4.027	10.471	1.611

Fuente: Elaboración propia

## 10.1. SOLUCIÓN

### 10.1.1. MODELO SOLUCIÓN

$X_{11}$ : Toneladas de producto producidas en la planta 1, transportadas y vendidas en el destino 1

$C_{11}$ : Costo de producir una tonelada en la planta 1 y transportarla al destino 1.

$H_1$ : Capacidad de producción planta 1

$k_1$ : Requerimiento destino 1

Tabla 74  
Caso de estudio: modelo

Planta	Destino 1	Destino 2	...	Destino n	Capacidad (TON)
Planta 1	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1n}$	$H_1$
Planta 2	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2n}$	$H_2$
·	·	·		·	·
·	·	·		·	·
·	·	·		·	·
Planta n	$c_{n1}$	$c_{n2}$	...	$c_{nn}$	$H_n$
Demanda (TON)	$k_1$	$k_2$	...	$k_m$	$\sum_{i=1}^m k_i$

Fuente: Elaboración propia

$$F. O.: \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$S. A.: \sum_{j=1}^n X_{Hj} \leq CAP H_{H=1,2...n}$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ik} \leq REQ K_{k=1,2...m}$$

$$\forall X_{ij} \geq 0$$

### 10.1.2. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

La herramienta utilizada para optimizar el modelo propuesto es SOLVER, con el método de resolución Simplex LP para problemas de SOLVER lineales. Debido a la complejidad de la situación planteada, se dividió el problema en 6 modelos. Cada uno de ellos responde a un tipo de producto: Cemento A empacado, Cemento B empacado, Cemento C empacado, Cemento A a granel, Cemento B a granel y Cemento C a granel.

Cada una de las modelaciones cuenta con 2 tablas. La primera muestra el costo de producir 35 Ton de un producto X en una planta Y sumado al costo de transportar estas 35 Ton desde la planta Y hasta un destino Z. Puesto que el problema cuenta con 2 centros de distribución que para efectos del modelo son nodos de transbordo puros, se plantean costos artificiales resaltados en rojo con el fin de evitar que en la solución óptima un nodo supla la demanda de otro o su propia demanda.

La segunda tabla muestra la solución óptima de la distribución, indicando en las celdas resaltadas con gris el número de tracto camiones C3S3 de 35 Ton que se deben enviar desde una planta Y hasta un destino Z. Adicional a esto, se muestran las restricciones de demanda, las cuales deben ser satisfechas en su totalidad y las restricciones de capacidad que determinan el máximo de producción posible en cada planta.

Junto a la segunda tabla se muestra el costo total de producir y transportar el producto desde cada planta hasta cada destino en las cantidades indicadas en la tabla 2, producto de la solución arrojada por la herramienta. Los 6 costos obtenidos después de la modelación se agregan en uno solo para determinar el costo óptimo de toda la operación. Adicional a esto se muestra la utilidad obtenida por la venta de estos productos.

Finalmente, la producción óptima se presenta en un plan de producción en toneladas. Este plan detalla las cantidades a producir en cada una de las plantas por cada uno de los productos.

Tabla 75

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A en sacos

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
Cairo	\$6.403.241	\$8.943.085	\$6.403.241	\$7.746.964	\$8.052.548	\$8.028.029	\$6.951.579	\$9.111.898	\$8.637.064	\$8.943.085	\$8.021.541
Rio Claro	\$6.558.752	\$8.996.596	\$6.558.752	\$7.800.475	\$8.106.059	\$8.081.540	\$7.005.090	\$9.165.409	\$8.690.575	\$8.996.596	\$8.075.052
Sogamoso	\$9.172.617	\$10.352.008	\$9.172.617	\$6.637.787	\$9.241.548	\$7.586.698	\$8.457.097	\$10.568.553	\$7.592.415	\$10.352.008	\$11.481.967
Yumbo	\$8.116.761	\$11.251.632	\$8.116.761	\$8.311.261	\$6.263.454	\$9.718.523	\$6.638.979	\$11.420.692	\$9.232.588	\$11.251.632	\$10.522.835
Tolú Viejo	\$8.123.212	\$6.571.547	\$8.123.212	\$10.158.781	\$10.560.293	\$8.973.033	\$9.278.909	\$6.808.867	\$11.118.681	\$6.571.547	\$6.674.912
Sabana Grande	\$9.213.569	\$6.173.066	\$9.213.569	\$10.545.755	\$11.458.150	\$8.654.138	\$10.388.892	\$6.164.912	\$11.492.724	\$6.173.066	\$6.808.867
Puerto Nare	\$6.658.859	\$9.028.703	\$6.658.859	\$7.832.582	\$8.138.166	\$8.113.647	\$7.037.197	\$9.197.516	\$8.722.682	\$9.028.703	\$8.107.159
Cartagena	\$8.943.085	\$6.063.241	\$8.943.085	\$10.286.569	\$11.187.419	\$8.742.020	\$10.116.844	\$6.071.395	\$11.201.256	\$6.063.241	\$6.469.876
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
Cairo	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio Claro	76	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
Sogamoso	0	0	0	40	0	0	0	0	14	0	0
Yumbo	0	0	0	0	24	0	42	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0
Cartagena	0	33	0	0	0	0	0	0	0	107	55
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	94	0	0	13
CD Medellín	0	0	3	0	0	0	79	0	11	0	0

17	≤	17
82	≤	82
54	≤	54
65	≤	65
0	≤	56
0	≤	104
9	≤	15
195	≤	427
107	=	107
93	=	93

93	33	3	40	24	4	120	94	36	107	69
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
93	33	3	40	24	4	120	94	36	107	69

**Costo** \$2.976.453.387

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 76

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B en sacos

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
Cairo	\$6.672.403	\$9.212.247	\$6.672.403	\$8.016.126	\$8.321.710	\$8.297.191	\$7.220.741	\$9.381.060	\$8.906.226	\$9.212.247	\$8.290.703
Río Claro	\$6.830.590	\$9.268.434	\$6.830.590	\$8.072.313	\$8.377.897	\$8.353.378	\$7.276.928	\$9.437.247	\$8.962.413	\$9.268.434	\$8.346.890
Sogamoso	\$9.444.866	\$10.624.257	\$9.444.866	\$6.910.036	\$9.513.797	\$7.858.947	\$8.729.346	\$10.840.802	\$7.864.664	\$10.624.257	\$11.754.216
Yumbo	\$8.389.134	\$11.524.005	\$8.389.134	\$8.583.634	\$6.535.827	\$9.990.896	\$6.911.352	\$11.693.065	\$9.504.961	\$11.524.005	\$10.795.208
Tolú Viejo	\$8.397.458	\$6.845.793	\$8.397.458	\$10.433.027	\$10.834.539	\$9.247.279	\$9.553.155	\$7.083.113	\$11.392.927	\$6.845.793	\$6.949.158
Sabana Grande	\$9.487.815	\$6.447.312	\$9.487.815	\$10.820.001	\$11.732.396	\$8.928.384	\$10.663.138	\$6.439.158	\$11.766.970	\$6.447.312	\$7.083.113
Puerto Nare	\$6.932.302	\$9.302.146	\$6.932.302	\$8.106.025	\$8.411.609	\$8.387.090	\$7.310.640	\$9.470.959	\$8.996.125	\$9.302.146	\$8.380.602
Cartagena	\$9.212.247	\$6.332.403	\$9.212.247	\$10.555.731	\$11.456.581	\$9.011.182	\$10.386.006	\$6.340.557	\$11.470.418	\$6.332.403	\$6.739.038
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
Cairo	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Río Claro	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	25	0	0	0	0	11	0	0
Yumbo	0	0	0	0	16	0	3	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cartagena	0	28	0	0	0	0	0	2	0	71	0
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	23
CD Medellín	0	0	2	0	0	3	43	0	14	0	0

11	≤	11
50	≤	55
36	≤	36
20	≤	43
0	≤	37
0	≤	69
0	≤	10
101	≤	283
71	=	71
61	=	61

61	28	2	25	16	3	47	50	24	71	23
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
61	28	2	25	16	3	47	50	24	71	23

<b>Costo</b>	\$ 1.628.274.504
--------------	------------------

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 77

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C en sacos

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC
El Cairo	\$6.833.900	\$8.177.623	\$8.458.688	\$9.067.723	\$9.373.744
Rio claro	\$6.993.692	\$8.235.415	\$8.516.480	\$9.125.515	\$9.431.536
Sogamoso	\$9.608.215	\$7.073.385	\$8.022.296	\$8.028.013	\$10.787.606
Valle	\$8.552.558	\$8.747.058	\$10.154.320	\$9.668.385	\$11.687.429
San Gil	\$8.556.935	\$8.210.891	\$7.102.147	\$9.267.541	\$9.270.926
Tolú Viejo	\$8.562.005	\$10.597.574	\$9.411.826	\$11.557.474	\$7.010.340
Sabana Grande	\$9.652.362	\$10.984.548	\$9.092.931	\$11.931.517	\$6.611.859
Puerto Nare	\$7.096.368	\$8.270.091	\$8.551.156	\$9.160.191	\$9.466.212
Cartagena	\$9.373.744	\$10.717.228	\$9.172.679	\$11.631.915	\$6.493.900
CDC	\$100.000.000	\$4.903.328	\$3.358.779	\$5.818.015	\$100.000.000
CDM	\$100.000.000	\$2.363.723	\$2.644.788	\$3.253.823	\$100.000.000

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC
El Cairo	3	0	0	0	0
Rio Claro	10	0	0	5	0
Sogamoso	0	3	0	7	0
Yumbo	0	0	0	12	0
San Gil	0	4	0	0	0
Tolú Viejo	4	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	3	0
Cartagena	0	0	0	0	20
CD Cartagena	0	0	4	16	0
CD Medellín	0	0	0	17	0

3	≤	3
15	≤	15
10	≤	10
12	≤	12
4	≤	4
4	≤	10
0	≤	19
3	≤	3
20	≤	76
20	=	20
17	=	17

17	7	4	60	20
=	=	=	=	=
17	7	4	60	20

**Costo** \$721.225.033

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 78

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A granel

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
Cairo	\$6.051.066	\$8.590.910	\$6.051.066	\$7.394.789	\$7.700.373	\$7.675.854	\$6.599.404	\$8.759.723	\$8.284.889	\$8.590.910	\$7.669.366	\$8.590.910
Río Claro	\$6.203.077	\$8.640.921	\$6.203.077	\$7.444.800	\$7.750.384	\$7.725.865	\$6.649.415	\$8.809.734	\$8.334.900	\$8.640.921	\$7.719.377	\$8.640.921
Sogamoso	\$8.816.403	\$9.995.794	\$8.816.403	\$6.281.573	\$8.885.334	\$7.230.484	\$8.100.883	\$10.212.339	\$7.236.201	\$9.995.794	\$11.125.753	\$9.995.794
Yumbo	\$7.760.386	\$10.895.257	\$7.760.386	\$7.954.886	\$5.907.079	\$9.362.148	\$6.282.604	\$11.064.317	\$8.876.213	\$10.895.257	\$10.166.460	\$10.895.257
Tolú Viejo	\$7.764.386	\$6.212.721	\$7.764.386	\$9.799.955	\$10.201.467	\$8.614.207	\$8.920.083	\$6.450.041	\$10.759.855	\$6.212.721	\$6.316.086	\$6.212.721
Sabana Grande	\$8.854.743	\$5.814.240	\$8.854.743	\$10.186.929	\$11.099.324	\$8.295.312	\$10.030.066	\$5.806.086	\$11.133.898	\$5.814.240	\$6.450.041	\$5.814.240
Puerto Nare	\$6.301.083	\$8.670.927	\$6.301.083	\$7.474.806	\$7.780.390	\$7.755.871	\$6.679.421	\$8.839.740	\$8.364.906	\$8.670.927	\$7.749.383	\$8.670.927
Cartagena	\$8.590.910	\$5.711.066	\$8.590.910	\$9.934.394	\$10.835.244	\$8.389.845	\$9.764.669	\$5.719.220	\$10.849.081	\$5.711.066	\$6.117.701	\$5.711.066
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Río Claro	32	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0
Yumbo	0	0	0	0	19	0	26	0	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Cartagena	0	13	0	0	0	0	0	0	0	57	0	63
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	4	33
CD Medellín	0	0	25	4	0	12	0	0	4	0	0	0

13	≤	13
64	≤	64
42	≤	42
46	≤	51
0	≤	43
0	≤	81
7	≤	12
133	≤	330
57	=	57
45	=	45

45	13	25	84	19	12	26	20	4	57	4	96
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
45	13	25	84	19	12	26	20	4	57	4	96

**Costo** \$1.971.902.971

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 79

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B granel

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	\$6.302.619	\$8.842.463	\$6.302.619	\$7.646.342	\$7.951.926	\$7.927.407	\$6.850.957	\$9.011.276	\$8.536.442	\$8.842.463	\$7.920.919	\$8.842.463
Río claro	\$6.457.130	\$8.894.974	\$6.457.130	\$7.698.853	\$8.004.437	\$7.979.918	\$6.903.468	\$9.063.787	\$8.588.953	\$8.894.974	\$7.973.430	\$8.894.974
Sogamoso	\$9.070.841	\$10.250.232	\$9.070.841	\$6.536.011	\$9.139.772	\$7.484.922	\$8.355.321	\$10.466.777	\$7.490.639	\$10.250.232	\$11.380.191	\$10.250.232
Yumbo	\$8.014.940	\$11.149.811	\$8.014.940	\$8.209.440	\$6.161.633	\$9.616.702	\$6.537.158	\$11.318.871	\$9.130.767	\$11.149.811	\$10.421.014	\$11.149.811
Tolú Viejo	\$8.020.691	\$6.469.026	\$8.020.691	\$10.056.260	\$10.457.772	\$8.870.512	\$9.176.388	\$6.706.346	\$11.016.160	\$6.469.026	\$6.572.391	\$6.469.026
Sabana Grande	\$9.111.048	\$6.070.545	\$9.111.048	\$10.443.234	\$11.355.629	\$8.551.617	\$10.286.371	\$6.062.391	\$11.390.203	\$6.070.545	\$6.706.346	\$6.070.545
Puerto Nare	\$6.556.637	\$8.926.481	\$6.556.637	\$7.730.360	\$8.035.944	\$8.011.425	\$6.934.975	\$9.095.294	\$8.620.460	\$8.926.481	\$8.004.937	\$8.926.481
Cartagena	\$8.842.463	\$5.962.619	\$8.842.463	\$10.185.947	\$11.086.797	\$8.641.398	\$10.016.222	\$5.970.773	\$11.100.634	\$5.962.619	\$6.369.254	\$5.962.619
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Río Claro	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0
Yumbo	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	11	0	72	1	188
CD Cartagena	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
CD Medellín	0	0	16	21	0	8	10	0	3	0	0	0

17	≤	17
41	≤	81
32	≤	54
14	≤	65
0	≤	56
0	≤	103
0	≤	15
272	≤	423
72	=	72
58	=	58

58	11	16	53	14	8	10	11	3	72	1	249
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
58	11	16	53	14	8	10	11	3	72	1	249

**Costo** \$2.446.303.688

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 80

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C granel

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC	Exterior
El Cairo	\$6.453.551	\$7.797.274	\$8.078.339	\$8.687.374	\$8.993.395	\$8.993.395
Rio Claro	\$6.609.563	\$7.851.286	\$8.132.351	\$8.741.386	\$9.047.407	\$9.047.407
Sogamoso	\$9.223.504	\$6.688.674	\$7.637.585	\$7.643.302	\$10.402.895	\$10.402.895
Yumbo	\$8.167.672	\$8.362.172	\$9.769.434	\$9.283.499	\$11.302.543	\$11.302.543
San Gil	\$8.170.159	\$7.824.115	\$6.715.371	\$8.880.765	\$8.884.150	\$8.884.150
Tolú Viejo	\$8.174.473	\$10.210.042	\$9.024.294	\$11.169.942	\$6.622.808	\$6.622.808
Sabana Grande	\$9.264.830	\$10.597.016	\$8.705.399	\$11.543.985	\$6.224.327	\$6.224.327
Puerto Nare	\$6.709.970	\$7.883.693	\$8.164.758	\$8.773.793	\$9.079.814	\$9.079.814
Cartagena	\$8.993.395	\$10.336.879	\$8.792.330	\$11.251.566	\$6.113.551	\$6.113.551
CD Cartagena	\$100.000.000	\$4.903.328	\$3.358.779	\$5.818.015	\$100.000.000	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$2.363.723	\$2.644.788	\$3.253.823	\$100.000.000	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC	Exterior
El Cairo	3	0	0	0	0	0
Rio Claro	8	5	3	0	0	0
Sogamoso	0	10	0	0	0	0
Yumbo	0	0	0	0	0	0
San Gil	0	0	3	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	2	0	0
Cartagena	0	0	0	0	14	25
CD Cartagena	0	0	0	0	0	14
CD Medellín	0	0	7	4	0	0

3	≤	3
15	≤	15
10	≤	10
0	≤	12
3	≤	3
0	≤	11
0	≤	20
2	≤	3
38	≤	77
14	=	14
11	=	11

11	15	12	7	14	38
=	=	=	=	=	=
11	15	12	7	14	38

**Costo** \$516.349.084

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

De acuerdo con los resultados de las modelaciones anteriores, el plan de producción que optimiza los costos de producción y distribución de los diferentes tipos de producto es el que se muestra en la Tabla 81.

Tabla 81  
Caso de estudio: plan de producción óptimo en toneladas

<b>DESTINO ORIGEN</b>	<b>Cemento A Sacos</b>	<b>Cemento B Sacos</b>	<b>Cemento C Sacos</b>	<b>Cemento A Granel</b>	<b>Cemento B Granel</b>	<b>Cemento C Granel</b>
<b>Cairo</b>	584	387	109	451	578	110
<b>Rio Claro</b>	2.876	1.765	535	2.224	1.452	540
<b>Sogamoso</b>	1.903	1.263	354	1.471	1.131	357
<b>Yumbo</b>	2.292	695	426	1.594	474	0
<b>San Gil</b>	0	0	147	0	0	100
<b>Tolú Viejo</b>	0	0	143	0	0	0
<b>Sabana Grande</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Puerto Nare</b>	298	0	101	231	0	83
<b>Cartagena</b>	6.825	3.544	694	4.640	9.530	1.342

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 82 muestra los costos óptimos para la operación de cada uno de los productos y se relaciona el volumen vendido con la respectiva utilidad obtenida por la venta.

Tabla 82  
Caso de estudio: utilidad anual por operación

<b>Operación</b>	<b>Costo</b>	<b>Volumen TON</b>	<b>Precio TON</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Utilidad bruta</b>	<b>Utilidad bruta anual (Millones)</b>
<b>Cemento A Sacos</b>	\$2.976.453.387	14.778	\$350.000	\$5.172.359.648	\$2.195.906.261	\$267.169
<b>Cemento B Sacos</b>	\$1.628.274.504	7.654	\$352.941	\$2.701.336.080	\$1.073.061.576	\$130.556
<b>Cemento C Sacos</b>	\$721.225.033	2.508	\$364.705	\$914.839.548	\$193.614.515	\$23.556
<b>Cemento A Granel</b>	\$1.971.902.971	10.612	\$340.000	\$3.608.225.079	\$1.636.322.108	\$199.086
<b>Cemento B Granel</b>	\$2.446.303.688	13.164	\$342.000	\$4.502.149.221	\$2.055.845.533	\$250.128
<b>Cemento C Granel</b>	\$516.349.084	2.533	\$354.000	\$896.731.449	\$380.382.365	\$46.280
<b>TOTAL</b>	\$10.260.508.667	51.250		\$17.795.641.025	\$7.535.132.358	\$916.774

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A en sacos-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
El Cairo	\$6.403.241	\$8.943.085	\$6.403.241	\$7.746.964	\$8.052.548	\$8.028.029	\$6.951.579	\$9.111.898	\$8.637.064	\$8.943.085	\$8.021.541
Río Claro	\$6.558.752	\$8.996.596	\$6.558.752	\$7.800.475	\$8.106.059	\$8.081.540	\$7.005.090	\$9.165.409	\$8.690.575	\$8.996.596	\$8.075.052
Sogamoso	\$9.172.617	\$10.352.008	\$9.172.617	\$6.637.787	\$9.241.548	\$7.586.698	\$8.457.097	\$10.568.553	\$7.592.415	\$10.352.008	\$11.481.967
Yumbo	\$8.116.761	\$11.251.632	\$8.116.761	\$8.311.261	\$6.263.454	\$9.718.523	\$6.638.979	\$11.420.692	\$9.232.588	\$11.251.632	\$10.522.835
Tolú Viejo	\$8.123.212	\$6.571.547	\$8.123.212	\$10.158.781	\$10.560.293	\$8.973.033	\$9.278.909	\$6.808.867	\$11.118.681	\$6.571.547	\$6.674.912
Sabana Grande	\$9.213.569	\$6.173.066	\$9.213.569	\$10.545.755	\$11.458.150	\$8.654.138	\$10.388.892	\$6.164.912	\$11.492.724	\$6.173.066	\$6.808.867
Puerto Nare	\$6.658.859	\$9.028.703	\$6.658.859	\$7.832.582	\$8.138.166	\$8.113.647	\$7.037.197	\$9.197.516	\$8.722.682	\$9.028.703	\$8.107.159
Cartagena	\$8.943.085	\$6.063.241	\$8.943.085	\$10.286.569	\$11.187.419	\$8.742.020	\$10.116.844	\$6.071.395	\$11.201.256	\$6.063.241	\$6.469.876
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
El Cairo	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Río Claro	42	0	0	0	0	0	3	0	37	0	0
Sogamoso	0	0	0	48	0	0	0	0	6	0	0
Yumbo	0	0	0	0	28	0	37	0	0	0	0
Tolú Viejo	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0
Cartagena	0	15	0	0	0	0	0	112	0	107	0
CD Cartagena	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	82
CD Medellín	0	0	3	0	0	0	89	0	0	0	0

17	≤	17
82	≤	82
54	≤	54
65	≤	65
34	≤	56
5	≤	104
15	≤	15
234	≤	427
107	=	107
93	=	93

93	40	3	48	28	5	144	112	43	107	82
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
93	40	3	48	28	5	144	112	43	107	82

**Costo** \$3.609.263.647

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 84

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B en sacos-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
El Cairo	\$6.672.403	\$9.212.247	\$6.672.403	\$8.016.126	\$8.321.710	\$8.297.191	\$7.220.741	\$9.381.060	\$8.906.226	\$9.212.247	\$8.290.703
Rio Claro	\$6.830.590	\$9.268.434	\$6.830.590	\$8.072.313	\$8.377.897	\$8.353.378	\$7.276.928	\$9.437.247	\$8.962.413	\$9.268.434	\$8.346.890
Sogamoso	\$9.444.866	\$10.624.257	\$9.444.866	\$6.910.036	\$9.513.797	\$7.858.947	\$8.729.346	\$10.840.802	\$7.864.664	\$10.624.257	\$11.754.216
Yumbo	\$8.389.134	\$11.524.005	\$8.389.134	\$8.583.634	\$6.535.827	\$9.990.896	\$6.911.352	\$11.693.065	\$9.504.961	\$11.524.005	\$10.795.208
Tolú Viejo	\$8.397.458	\$6.845.793	\$8.397.458	\$10.433.027	\$10.834.539	\$9.247.279	\$9.553.155	\$7.083.113	\$11.392.927	\$6.845.793	\$6.949.158
Sabana Grande	\$9.487.815	\$6.447.312	\$9.487.815	\$10.820.001	\$11.732.396	\$8.928.384	\$10.663.138	\$6.439.158	\$11.766.970	\$6.447.312	\$7.083.113
Puerto Nare	\$6.932.302	\$9.302.146	\$6.932.302	\$8.106.025	\$8.411.609	\$8.387.090	\$7.310.640	\$9.470.959	\$8.996.125	\$9.302.146	\$8.380.602
Cartagena	\$9.212.247	\$6.332.403	\$9.212.247	\$10.555.731	\$11.456.581	\$9.011.182	\$10.386.006	\$6.340.557	\$11.470.418	\$6.332.403	\$6.739.038
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo
El Cairo	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio Claro	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	31	0	0	0	0	5	0	0
Yumbo	0	0	0	0	20	0	24	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cartagena	0	34	0	0	0	0	0	0	0	71	17
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	10
CD Medellín	0	0	2	0	0	3	33	0	23	0	0

11	≤	11
50	≤	55
36	≤	36
43	≤	43
0	≤	37
0	≤	69
0	≤	10
122	≤	283
71	=	71
61	=	61

61	34	2	31	20	3	56	60	29	71	27
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
61	34	2	31	20	3	56	60	29	71	27

<b>Costo</b>	\$1.931.647.089
--------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 85

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C en sacos-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC
El Cairo	\$6.833.900	\$8.177.623	\$8.458.688	\$9.067.723	\$9.373.744
Rio claro	\$6.993.692	\$8.235.415	\$8.516.480	\$9.125.515	\$9.431.536
Sogamoso	\$9.608.215	\$7.073.385	\$8.022.296	\$8.028.013	\$10.787.606
Valle	\$8.552.558	\$8.747.058	\$10.154.320	\$9.668.385	\$11.687.429
San Gil	\$8.556.935	\$8.210.891	\$7.102.147	\$9.267.541	\$9.270.926
Tolú Viejo	\$8.562.005	\$10.597.574	\$9.411.826	\$11.557.474	\$7.010.340
Sabana Grande	\$9.652.362	\$10.984.548	\$9.092.931	\$11.931.517	\$6.611.859
Puerto Nare	\$7.096.368	\$8.270.091	\$8.551.156	\$9.160.191	\$9.466.212
Cartagena	\$9.373.744	\$10.717.228	\$9.172.679	\$11.631.915	\$6.493.900
CDC	\$100.000.000	\$4.903.328	\$3.358.779	\$5.818.015	\$100.000.000
CDM	\$100.000.000	\$2.363.723	\$2.644.788	\$3.253.823	\$100.000.000

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC
El Cairo	3	0	0	0	0
Rio Claro	0	0	0	15	0
Sogamoso	0	5	0	6	0
Yumbo	0	0	0	12	0
San Gil	0	4	0	0	0
Tolú Viejo	10	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	4	0	0
Puerto Nare	0	0	0	3	0
Cartagena Total	4	0	0	0	20
CD Cartagena	0	0	1	19	0
CD Medellín	0	0	0	17	0

3	≤	3
15	≤	15
10	≤	10
12	≤	12
4	≤	4
10	≤	10
4	≤	19
3	≤	3
24	≤	76
20	=	20
17	=	17

17	9	5	72	20
=	=	=	=	=
17	9	5	72	20

<b>Costo</b>	\$877.764.203
--------------	---------------

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 86

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo A granel-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	\$6.051.066	\$8.590.910	\$6.051.066	\$7.394.789	\$7.700.373	\$7.675.854	\$6.599.404	\$8.759.723	\$8.284.889	\$8.590.910	\$7.669.366	\$8.590.910
Rio Claro	\$6.203.077	\$8.640.921	\$6.203.077	\$7.444.800	\$7.750.384	\$7.725.865	\$6.649.415	\$8.809.734	\$8.334.900	\$8.640.921	\$7.719.377	\$8.640.921
Sogamoso	\$8.816.403	\$9.995.794	\$8.816.403	\$6.281.573	\$8.885.334	\$7.230.484	\$8.100.883	\$10.212.339	\$7.236.201	\$9.995.794	\$11.125.753	\$9.995.794
Yumbo	\$7.760.386	\$10.895.257	\$7.760.386	\$7.954.886	\$5.907.079	\$9.362.148	\$6.282.604	\$11.064.317	\$8.876.213	\$10.895.257	\$10.166.460	\$10.895.257
Tolú Viejo	\$7.764.386	\$6.212.721	\$7.764.386	\$9.799.955	\$10.201.467	\$8.614.207	\$8.920.083	\$6.450.041	\$10.759.855	\$6.212.721	\$6.316.086	\$6.212.721
Sabana Grande	\$8.854.743	\$5.814.240	\$8.854.743	\$10.186.929	\$11.099.324	\$8.295.312	\$10.030.066	\$5.806.086	\$11.133.898	\$5.814.240	\$6.450.041	\$5.814.240
Puerto Nare	\$6.301.083	\$8.670.927	\$6.301.083	\$7.474.806	\$7.780.390	\$7.755.871	\$6.679.421	\$8.839.740	\$8.364.906	\$8.670.927	\$7.749.383	\$8.670.927
Cartagena Total	\$8.590.910	\$5.711.066	\$8.590.910	\$9.934.394	\$10.835.244	\$8.389.845	\$9.764.669	\$5.719.220	\$10.849.081	\$5.711.066	\$6.117.701	\$5.711.066
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio Claro	23	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0
Yumbo	0	0	0	0	23	0	27	0	0	0	0	0
Tolú Viejo	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	3	0	0	4	0	5	0	0	0
Cartagena Total	0	15	0	0	0	0	0	25	0	57	4	58
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57
CD Medellín	0	0	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0

13	≤	13
64	≤	64
42	≤	42
51	≤	51
9	≤	43
14	≤	81
12	≤	12
159	≤	330
57	=	57
45	=	45

45	15	30	100	23	14	31	25	5	57	4	115
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
45	15	30	100	23	14	31	25	5	57	4	115

**Costo** \$2.382.840.652

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 87

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo B granel-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	\$6.302.619	\$8.842.463	\$6.302.619	\$7.646.342	\$7.951.926	\$7.927.407	\$6.850.957	\$9.011.276	\$8.536.442	\$8.842.463	\$7.920.919	\$8.842.463
Rio Claro	\$6.457.130	\$8.894.974	\$6.457.130	\$7.698.853	\$8.004.437	\$7.979.918	\$6.903.468	\$9.063.787	\$8.588.953	\$8.894.974	\$7.973.430	\$8.894.974
Sogamoso	\$9.070.841	\$10.250.232	\$9.070.841	\$6.536.011	\$9.139.772	\$7.484.922	\$8.355.321	\$10.466.777	\$7.490.639	\$10.250.232	\$11.380.191	\$10.250.232
Yumbo	\$8.014.940	\$11.149.811	\$8.014.940	\$8.209.440	\$6.161.633	\$9.616.702	\$6.537.158	\$11.318.871	\$9.130.767	\$11.149.811	\$10.421.014	\$11.149.811
Tolú Viejo	\$8.020.691	\$6.469.026	\$8.020.691	\$10.056.260	\$10.457.772	\$8.870.512	\$9.176.388	\$6.706.346	\$11.016.160	\$6.469.026	\$6.572.391	\$6.469.026
Sabana Grande	\$9.111.048	\$6.070.545	\$9.111.048	\$10.443.234	\$11.355.629	\$8.551.617	\$10.286.371	\$6.062.391	\$11.390.203	\$6.070.545	\$6.706.346	\$6.070.545
Puerto Nare	\$6.556.637	\$8.926.481	\$6.556.637	\$7.730.360	\$8.035.944	\$8.011.425	\$6.934.975	\$9.095.294	\$8.620.460	\$8.926.481	\$8.004.937	\$8.926.481
Cartagena Total	\$8.842.463	\$5.962.619	\$8.842.463	\$10.185.947	\$11.086.797	\$8.641.398	\$10.016.222	\$5.970.773	\$11.100.634	\$5.962.619	\$6.369.254	\$5.962.619
CD Cartagena	\$100.000.000	\$680.000	\$3.559.844	\$4.903.328	\$5.804.178	\$3.358.779	\$4.733.603	\$688.154	\$5.818.015	\$100.000.000	\$1.086.635	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$3.559.844	\$680.000	\$2.363.723	\$2.669.307	\$2.644.788	\$1.568.338	\$3.728.657	\$3.253.823	\$100.000.000	\$2.638.300	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Cartagena	Medellín	Bogotá	Cali	Bucaramanga	Pereira	Barranquilla	Villavicencio	CDC	Sincelejo	Exterior
El Cairo	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio Claro	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sogamoso	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
Yumbo	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cartagena Total	0	13	0	0	0	0	0	13	0	72	0	228
CD Cartagena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	71
CD Medellín	0	0	19	14	0	10	12	0	3	0	0	0

17	≤	17
41	≤	81
50	≤	54
16	≤	65
0	≤	56
0	≤	103
0	≤	15
327	≤	423
72	=	72
58	=	58

58	13	19	64	16	10	12	13	3	72	1	299
=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
58	13	19	64	16	10	12	13	3	72	1	299

<b>Costo</b>	\$2.899.715.125
--------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

Tabla 88

Caso de estudio: optimización de costos cemento Tipo C granel-proyección

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC	Exterior
El Cairo	\$6.453.551	\$7.797.274	\$8.078.339	\$8.687.374	\$8.993.395	\$8.993.395
Rio Claro	\$6.609.563	\$7.851.286	\$8.132.351	\$8.741.386	\$9.047.407	\$9.047.407
Sogamoso	\$9.223.504	\$6.688.674	\$7.637.585	\$7.643.302	\$10.402.895	\$10.402.895
Yumbo	\$8.167.672	\$8.362.172	\$9.769.434	\$9.283.499	\$11.302.543	\$11.302.543
San Gil	\$8.170.159	\$7.824.115	\$6.715.371	\$8.880.765	\$8.884.150	\$8.884.150
Tolú Viejo	\$8.174.473	\$10.210.042	\$9.024.294	\$11.169.942	\$6.622.808	\$6.622.808
Sabana Grande	\$9.264.830	\$10.597.016	\$8.705.399	\$11.543.985	\$6.224.327	\$6.224.327
Puerto Nare	\$6.709.970	\$7.883.693	\$8.164.758	\$8.773.793	\$9.079.814	\$9.079.814
Cartagena Total	\$8.993.395	\$10.336.879	\$8.792.330	\$11.251.566	\$6.113.551	\$6.113.551
CD Cartagena	\$100.000.000	\$4.903.328	\$3.358.779	\$5.818.015	\$100.000.000	\$680.000
CD Medellín	\$100.000.000	\$2.363.723	\$2.644.788	\$3.253.823	\$100.000.000	\$3.559.844

DESTINO ORIGEN	CDM	Bogotá	Bucaramanga	Villavicencio	CDC	Exterior
El Cairo	3	0	0	0	0	0
Rio Claro	8	0	8	0	0	0
Sogamoso	0	10	0	0	0	0
Yumbo	0	6	0	0	0	0
San Gil	0	0	3	0	0	0
Tolú Viejo	0	0	0	0	0	0
Sabana Grande	0	0	0	0	0	0
Puerto Nare	0	0	3	0	0	0
Cartagena Total	0	0	0	0	14	32
CD Cartagena	0	0	0	0	0	14
CD Medellín	0	2	1	8	0	0

3	≤	3
15	≤	15
10	≤	10
6	≤	12
3	≤	3
0	≤	11
0	≤	20
3	≤	3
46	≤	77
14	=	14
11	=	11

11	18	14	8	14	46
=	=	=	=	=	=
11	18	14	8	14	46

**Costo** \$621.770.854

Fuente: Elaboración propia con herramienta SOLVER

De acuerdo con los resultados de las modelaciones anteriores, el plan de producción que optimiza los costos de producción y distribución de los diferentes tipos de producto se muestra en la Tabla 89.

Tabla 89  
Caso de estudio: plan de producción por tonelada por ciclo-proyección

DESTINO ORIGEN	Cemento A Sacos	Cemento B Sacos	Cemento C Sacos	Cemento A Granel	Cemento B Granel	Cemento C Granel
El Cairo	584	387	109	451	578	110
Rio Claro	2876	1765	535	2224	1452	540
Sogamoso	1903	1263	354	1471	1763	357
Yumbo	2292	1517	426	1772	568	220
San Gil	0	0	147	0	0	100
Tolú Viejo	1176	0	366	323	0	0
Sabana Grande	172	0	150	506	0	0
Puerto Nare	541	0	101	418	0	102
Cartagena	8190	4253	823	5568	11436	1611

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 90 muestra los costos óptimos para la operación de cada uno de los productos y se relaciona el volumen vendido con la respectiva utilidad obtenida por la venta.

Tabla 90  
Caso de estudio: utilidad anual por operación-proyección

Operación	Costo	Volumen TON	Precio TON	Ingreso	Utilidad	Utilidad bruta anual (Millones)
Cemento A Sacos	\$3.609.263.647	17.734	\$350.000	\$6.206.831.577	\$2.597.567.930	\$316.037
Cemento B Sacos	\$1.931.647.089	9.185	\$352.941	\$3.241.603.296	\$1.309.956.207	\$159.378
Cemento C Sacos	\$877.764.203	3.010	\$364.705	\$1.097.807.457	\$220.043.254	\$26.772
Cemento A Granel	\$2.382.840.652	12.735	\$340.000	\$4.329.870.095	\$1.947.029.443	\$236.889
Cemento B Granel	\$2.899.715.125	15.797	\$342.000	\$5.402.579.065	\$2.502.863.940	\$304.515
Cemento C Granel	\$621.770.854	3.040	\$354.000	\$1.076.077.739	\$454.306.885	\$55.274
<b>TOTAL</b>	<b>\$12.323.001.570</b>	<b>61.500</b>		<b>\$21.354.769.230</b>	<b>\$9.031.767.660</b>	<b>\$1.098.865</b>

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la solución arrojada por el modelo, la empresa CEMENTOS DEL FUTURO SA puede lograr una optimización de costos. Esta optimización le generaría un costo de operación por ciclo de 10.260.508.667 COP, esto representa un volumen total de 51.250 Ton, que vendidos a los precios respectivos para cada producto tendría como resultado un ingreso por ciclo de 17.795.641.025 COP y una utilidad bruta anual de 916.774 Millones COP. Esta maximización de la utilidad bruta coloca a la empresa en una posición privilegiada frente a la competencia para llegar a una negociación que le sea favorable, o sobrellevar la guerra de precios sin perjudicar su rentabilidad.

Otra ventaja de la utilización de este modelo es la certidumbre que la empresa adquiriría en la forma en la que va a satisfacer la demanda de los diferentes destinos desde cada una de sus plantas. Esto garantizaría una mayor capacidad de respuesta ante contingencias o cambios repentinos en la demanda, puesto que la empresa conocería de antemano que planta tendría capacidad disponible al menor costo o en caso de una cancelación, a que cliente puede enviársele el producto sin afectar significativamente el costo de la operación.

Adicionalmente, la aplicación de este modelo se puede traducir en un mejor servicio al cliente debido a que existe mayor probabilidad de cumplir con los tiempos de entrega pactados. Es posible que al mejorar la promesa de servicio, se logre un factor diferenciador que permita romper el esquema de *commodity* dado por la naturaleza del producto. Si la empresa utiliza el control de la producción y distribución adquirido a partir del modelo para sincronizar su cadena de suministros y minimizar los desperdicios, esto se convertiría en una ventaja competitiva sostenible.

Teniendo en cuenta el crecimiento potencial de la demanda para un periodo de cinco años, si la empresa mantuviera sus condiciones actuales de capacidad y costos de producción y distribución, el costo óptimo de la operación por ciclo sería de 12.323.001.570 COP. Esto representa un volumen total de 61.500 Ton, que vendidos a los precios respectivos para cada producto generarían un ingreso por ciclo de 21.354.769.230 COP y una utilidad bruta anual de 1.098.865 Millones COP.

Considerando los datos arrojados por la proyección, se puede concluir que la empresa actualmente cuenta con capacidad suficiente para satisfacer los volúmenes de demanda

esperados en el futuro. Esto indica que la empresa debe concentrar sus esfuerzos en: mejoras tecnológicas que minimicen tanto los costos financieros, como los sociales y ambientales que son significativos en la industria del cemento. Desarrollo de nuevos mercados y penetración de los mercados existentes.

No obstante, analizando los porcentajes de utilización derivados del modelo actual y del proyectado, se puede concluir que la empresa CEMENTOS DEL FUTURO SA debería tomar medidas acerca del funcionamiento de las plantas de Sabanagrande y Tolú Viejo debido a que sus porcentajes de utilización, incluso en un panorama proyectado, son inferiores al 30%.

Las opciones que se plantean para la empresa son: reducir los costos de producción a partir de mejoras tecnológicas que hagan viable la producción y distribución desde estas. Realizar esfuerzos para la apertura de mercado en la región norte del país o en el exterior debido a la cercanía de las plantas a los puertos del mar Caribe. Por último, deberían considerar el cierre de la planta de Sabanagrande, trasladando su producción a Cartagena o Tolú Viejo.

A continuación se presentan, en las Tablas 91 y 92, los porcentajes de utilización de las diferentes plantas determinadas a partir de las modelaciones actual y proyectada.

Tabla 91  
Caso de estudio: porcentaje de utilización plantas

<b>ORIGEN \ DESTINO</b>	<b>Cemento A Saco</b>	<b>Cemento B Saco</b>	<b>Cemento C Saco</b>	<b>Cemento A Granel</b>	<b>Cemento B Granel</b>	<b>Cemento C Granel</b>
<b>El Cairo</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Rio Claro</b>	100%	92%	100%	100%	51%	100%
<b>Sogamoso</b>	100%	100%	100%	100%	60%	100%
<b>Yumbo</b>	100%	46%	100%	90%	21%	0%
<b>San Gil</b>	0%	0%	100%	0%	0%	100%
<b>Tolú Viejo</b>	0%	0%	39%	0%	0%	0%
<b>Sabana Grande</b>	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Puerto Nare</b>	55%	0%	100%	55%	0%	82%
<b>Cartagena</b>	46%	36%	26%	40%	64%	50%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92

Caso de estudio: porcentaje de utilización plantas-proyección

<b>ORIGEN \ DESTINO</b>	<b>Cemento A Sacos</b>	<b>Cemento B Sacos</b>	<b>Cemento C Sacos</b>	<b>Cemento A Granel</b>	<b>Cemento B Granel</b>	<b>Cemento C Granel</b>
<b>El Cairo</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Rio Claro</b>	100%	92%	100%	100%	51%	100%
<b>Sogamoso</b>	100%	100%	100%	100%	94%	100%
<b>Yumbo</b>	100%	100%	100%	100%	25%	51%
<b>San Gil</b>	0%	0%	100%	0%	0%	100%
<b>Tolú Viejo</b>	60%	0%	100%	21%	0%	0%
<b>Sabana Grande</b>	5%	0%	22%	18%	0%	0%
<b>Puerto Nare</b>	100%	0%	100%	100%	0%	100%
<b>Cartagena</b>	55%	43%	31%	48%	77%	60%

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron con el presente trabajo de investigación son las siguientes:

La piedra caliza es la materia prima más importante para la producción de cemento no solo porque es la que se requiere en mayor cantidad, sino porque de su contenido de carbonato de calcio depende la calidad final del cemento. Adicionalmente, la localización de la cantera de caliza determina la ubicación de la planta de cementos pues resulta demasiado costoso transportar este material desde puntos muy alejados. Por esta razón la vida útil del yacimiento limita el tiempo de funcionamiento de la planta cementera. La importancia de que el material calizo siempre esté disponible es tal que las cementeras han integrado la cantera y la explotación minera a sus procesos productivos.

El comercio exterior ha venido ganando importancia en el sector cemento en Colombia. Las importaciones de materia prima, como clinker y yeso, son cada vez más usuales para las empresas ya que les permite aprovechar las condiciones del mercado internacional y les presenta una mayor cantidad de proveedores. Adicionalmente, los productos de exportación no se limitan solo al cemento, sino que se extienden al clinker.

El sector cemento utiliza la estiba tradicional de madera cuya vida útil es de 6 meses en promedio e implica tener una estación de carpintería en las instalaciones de la cementera para reparar las unidades dañadas. Esta práctica no ha sido modificada aun cuando existen estibas de otros materiales que cumplen con los requerimientos de resistencia, ofrecen una mayor vida útil y no requieren inversión adicional en reparaciones.

En los últimos años, han surgido proyectos independientes que han cambiado la dinámica del sector. Estos proyectos comercializan sus productos a nivel regional con el fin de no incurrir en costos de transporte elevados y crear un sentido de pertenencia por la marca en la región. Para el año 2014 contaban con una participación aproximada del 6% y actualmente existen más proyectos independientes en proceso de implementación.

En Colombia todavía existen plantas de proceso productivo húmedo. A pesar de que muchas de ellas producen su propia energía, su nivel de ineficiencia es alto y por esto están llamadas a

desaparecer. Actualmente, el proceso que presenta la mayor eficiencia energética es el proceso productivo seco con torre pre-calentadora. Este proceso es el más utilizado en las plantas del país.

Las cementeras buscan producir un clinker tan reactivo como sea posible con el fin de aumentar la cantidad de adiciones, especialmente las que son inertes, en el producto final. De esta manera obtienen mayores beneficios económicos y se disminuyen los impactos ambientales. Actualmente, las cementeras han logrado producir cemento cuyo volumen de adiciones es el 35% del total.

El proceso más importante de la producción de cemento es la clinkerización, ya que en este se forman los cristales fundamentales que otorgan al cemento sus propiedades características. Las desviaciones en los parámetros de temperatura y tiempo del proceso o en la composición química de los materiales, puede tener consecuencias significativas en el producto final. El proceso más crítico de la operación del sector cemento es el transporte, pues representa el mayor costo de operación, no agrega valor al producto y es muy sensible a las externalidades.

En el mercado colombiano, la venta de cemento en sacos predomina sobre el granel y el concreto, debido a que el consumidor final no acostumbra a utilizar el portafolio de soluciones para la construcción que ofrecen las cementeras, a pesar de que estas presentan mayores beneficios económicos, facilitan los procesos de construcción y ofrecen mayor calidad en las estructuras.

El canal de distribución más importante en el sector cemento en Colombia es el de comercializadores. Con el fin de acercarse al consumidor final, las cementeras están implementando diferentes estrategias entre las que resaltan la eliminación de intermediarios y un mayor enfoque hacia los segmentos de concreteras y constructoras.

## RECOMENDACIONES

Con el cambio de la dinámica del sector, las empresas cementeras deberían explorar posiciones estratégicas diferentes del liderazgo en costos que les permitan diferenciarse y generar un valor agregado para sus clientes. En este sentido, las cementeras podrían utilizar herramientas logísticas para lograr un acercamiento al cliente y garantizar la fidelización del mismo.

Considerando el importante impacto ambiental que supone la operación de una planta de cemento, las regulaciones ambientales deberían ser más estrictas en cuanto a la eficiencia de las tecnologías utilizadas en la producción de cemento. Así mismo, las cementeras que cuentan con tecnología de producción obsoleta, deberían realizar inversiones en favor de la responsabilidad ambiental.

El sector debería evaluar la posibilidad de sustituir las estibas de madera por estibas de otros materiales ya que esto podría disminuir el costo de la operación. Adicionalmente, la utilización de estibas fabricadas a partir de materiales reciclados o reciclables mitigaría el impacto ambiental.

Las empresas cementeras podrían fomentar una nueva cultura de consumo de cemento en el mercado colombiano que potencie el uso de todo el portafolio de servicios de las cementeras y se enfoque en la capacitación del consumidor final para mejorar el desempeño del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aceros Arequipa. (2014). *Manual del Maestro Constructor*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Aceros Arequipa: <http://www.acerosarequipa.com/maestro-obra/maestro-obras-manuales-digitales/maestro-obra-manual-del-maestro-constructor>
- ADITYA BIRLA UltraTech. (s.f.). *About Us; Logistics: ADITYA BIRLA UltraTech*. Recuperado el 11 de octubre de 2014, de ADITYA BIRLA UltraTech: <http://www.ultratechcement.com/UltratechSimple.aspx?PageId=13>
- ARGOS. (2014). *Cemento*. Recuperado el 03 de marzo de 2014, de Argos: <http://www.argos.co/colombia/productos/cemento/tipos>
- Argos. (7 de Julio de 2014). *In Argos, the future starts today - 3. Increase in packing and dispatch capacity*. Recuperado el 24 de Abril de 2015, de Periódico Green Light: <http://www.periodicoluzverde.com/en/en-argos-el-futuro-empieza-hoy/?lang=en>
- Argos. (2015). *Cemento Gris o Portland*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Argos Colombia: <http://www.argos.co/colombia/productos/producto/subproducto?id=733>
- Argos Colombia. (2013). *Posición de Cementos Argos respecto al debate sobre los niveles de precio y actuación competitiva de la compañía en Colombia*. Bogotá: Argos Colombia.
- Argos Colombia. (2015). *Presencia*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Argos: <http://www.argos.co/colombia/somos/presencia>
- Argos. Luz verde. (09 de Septiembre de 2012). *Descarga mecanizada de cemento*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de <https://www.youtube.com/watch?v=qKCak2UDzTE>
- ARPL Tecnología Industrial S.A. (2008). *Ampliación de la capacidad de envases y despacho líneas n° 5 y n° 6*. Recuperado el 24 de Abril de 2015, de ARPL Tecnología Industrial S.A.: <http://www.arpl.com/novedadesdetalleExt-es.asp?id=30>
- Arquiográfico. (2014). *¿Qué es el fibrocemento?* Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Arquiográfico: <http://www.arkigrafico.com/que-es-el-fibrocemento/>
- Banco de la Republica. (2013). *Sectores económicos*. Recuperado el 14 de Enero de 2014, de Biblioteca Virtual Biblioteca Luis Angel Arango: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/econo53.htm>
- Banco Mundial. (2014). *International LPI Global Ranking*. Obtenido de <http://lpi.worldbank.org/international/global>

- Banco Mundial. (2014). *Logistic Performance Index*. Obtenido de International Scorecard: <http://lpi.worldbank.org/international/scorecard/radar/254/C/COL/2014#chartarea>
- Bernal Gonzales, M. (2013). *Cubicaje: efectividad a la hora de acomodar mercancías*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Revista de logística: <http://www.revistadelogistica.com/Cubicaje-efectividad-a-la-hora-de-acomodar-mercancias.asp>
- Bernal, M. (2012). *¿Avanzamos hacia la logística de una Colombia competitiva?* Obtenido de <http://www.revistadelogistica.com/avanzamos-hacia-la-logistica-de-una-colombia-competitiva.asp>
- Bustos, M. L. (1993). Las teorías de la localización industrial. *Estudios Regionales*, 51-76.
- CA Building Products. (30 de Noviembre de 2012). *Geometrica®*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de CA Building Products: <http://www.cabuildingproducts.co.uk/geometrica/>
- Calderón. (6 de Marzo de 2015). Entrevista 8. (M. Hernandez, M. Londoño, & C. Nieves, Entrevistadores)
- CAMACOL. (2009). *Prefabricados*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Directorio de la industria de la construcción: <http://www.directoriocamacol.com/subcategorias/359/prefabricados-de-concreto.html>
- Cámara Nacional del Cemento. (s.f.). *Plantas*. Recuperado el 7 de 9 de 2014, de CANACEM: [http://www.canacem.org.mx/la\\_industria\\_plantas.htm](http://www.canacem.org.mx/la_industria_plantas.htm)
- Campos Avella, J. C. (18 de Julio de 2007). *Ahorro de energía en la industria del cemento*. Barranquilla: Colciencias.
- Carbounión. (2015). *Qué es el carbón*. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de Federación Nacional de Empresarios de Minas de Carbón Carbounión: <http://www.carbunion.com/index.php>
- Castillo, A., García, J., Ardila, R., Chamat, V., & Forero, J. (2009). *Anuario estadístico minero colombiano*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.
- Cementos Argos S.A. (Mayo de 2013). *Versión Local del Prospecto de Información Emisión y Colocación de Acciones con Dividendo Preferencial y Sin Derecho a Voto de Cementos Argos S.A.* Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Bolsa de Valores de Coombia BVC: [http://www.bvc.com.co/recursos/emisores/Prospectos/Acciones/Prospecto\\_PFCEMARGOS\\_2013.pdf](http://www.bvc.com.co/recursos/emisores/Prospectos/Acciones/Prospecto_PFCEMARGOS_2013.pdf)
- Cementos del Oriente. (2012). *Productos*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Cementos del Oriente: <http://www.cementosdeloriente.com/index.htm>

Cementos San Marcos. (2015). *Productos*. Recuperado el 9 de marzo de 2015, de Cementos San Marcos: <http://www.cementosanmarcos.com/usos-y-aplicaciones/>

Cementos Tequendama. (2012). *Nosotros: Planta*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Cementos Tequendama: <http://cetesa.com.co/nosotros.php>

Cementos Tequendama. (2012). *Productos*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Cementos Tequendama: <http://cetesa.com.co/productos.php>

Cemex. (2014). *Acerca de Cemex Colombia*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Cemex: <http://www.cemex.com/ES/AcercaCemex/Colombia.aspx>

Cemex Colombia. (2013). *Prospecto de Información de la Emisión de Papeles Comerciales de Cemex Colombia S.A.* Bogotá D.C.: Cemex Colombia.

Cemex Colombia. (2015). *Distribuidores*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de CEMEX Colombia: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesCanal/Distribuidores.aspx>

Cemex Colombia. (2015). *Plantas móviles*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Cemex: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/PlantasMoviles.aspx>

CEMEX Colombia. (s.f.). *Soluciones para el constructor; Servicios; CEMEX en su obra: Cemex Colombia*. Recuperado el 11 de octubre de 2014, de CEMEX Colombia: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/CemexEnSuObra.aspx>

CEMEX Colombia. (s.f.). *Soluciones para el constructor; servicios; plantas móviles: CEMEX Colombia*. Recuperado el 11 de octubre de 2014, de CEMEX Colombia: <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/PlantasMoviles.aspx>

Cemex LatAm Holdings. (2015). *Colombia*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Cemex LatAm Holdings: <http://www.cemexlatam.com/ES/AcercaNosotros/Colombia.aspx>

CEMEX REPÚBLICA DOMINICANA. (s.f.). *Servicios; centro de servicios; silos: CEMEX REPÚBLICA DOMINICANA*. Recuperado el octubre de 11 de 2014, de CEMEX REPÚBLICA DOMINICANA: [http://www.cemexdominicana.com/se/se\\_cs\\_si.html](http://www.cemexdominicana.com/se/se_cs_si.html)

Central de Maderas SAS. (2014). *Contáctenos*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Central de Maderas SAS: <http://www.centraldemaderas.com/site/contactenos/>

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (Diciembre de 2007). *Ficha Técnica Humo de Sílice*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de CEDEX: <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/08063BEF-1B3B-4B7E-92A5-668337F52FD6/119859/HUMODESILICE.pdf>

- Cerrejón. (2015). *El carbón*. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de Cerrejón Minería Responsable: <http://www.cerrejon.com/site/mas-sobre-el-carbon/el-carbon.aspx>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2012). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Pearson Education.
- Claros, E. (Octubre de 2013). *Transporte de cemento a granel*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de BLOG 360° EN CONCRETO: <http://blog.360gradosenconcreto.com/en-que-consiste-el-transporte-de-cemento-a-granel/>
- Copa Mex. (2013). *Kraft*. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de Copa Mex El Gran Papel de México: <http://www.copamex.com/kraft.html>
- Corporación de Investigaciones de Colombia - PROCOLOMBIA. (2004). *Guía ambiental transporte de carbón*. Medeillín: Editorial Marín Vieco Ltda.
- CSCMP. (Agosto de 2013). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. Recuperado el 16 de Enero de 2014, de Council of Supply Chain Management Professionals: [https://cscmp.org/sites/default/files/user\\_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf](https://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf)
- DANE. (2015). *Estadísticas del concreto premezclado: anexos*. Información estadística.
- DANE. (30 de Marzo de 2015). *Estadísticas de Cemento Gris: Anexos*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de DANE: <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-alias/estadisticas-de-cemento-gris-ecg>
- Daniel, P., & Careddu, N. (s.f.). *Extracción subterránea en perspectiva*. Recuperado el 1 de Abril de 2015, de LITOS online: <http://www.litosonline.com/es/articulos/es/126/extraccion-subterranea-en-perspectiva>
- DCL: Dust Control and Loading Systems. (2010). *Caso práctico: Automatización de carga a granel - DCL*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de DCL: Dust Control and Loading Systems: <http://www.dclinc.com/sp/caso-pr%C3%A1ctico:-automatizaci%C3%B3n-de-carga-a-granel-43/>
- Diago. (24 de Febrero de 2015). Entrevista 7. (M. Hernandez, M. Londoño, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Dinero. (10 de Octubre de 2014). *Futuro concreto*. Recuperado el 12 de Abril de 2015, de Dinero.com: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/argos-cemex-holcim-disputan-mercado-local-del-cemento/202673>
- Directorio Camacol. (2009). *Áridos, cementos, asfaltos y hormigones*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Directorio Camacol: <http://www.directoriocamacol.com/subcategorias/88/concretos.html>

- Directorio de fábricas. (2012). *Fábricas de Papel en Colombia*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Directorio de fábricas.com:  
<http://www.directoriodefabricas.com/colombia/fabricantes-papel-en-colombia.html>
- Ditransa. (2014). *Tipos De Vehículos*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Ditransa:  
<http://www.ditransa.com.co/NuestraOferta/TypeOfVehicle.aspx>
- DNP. (2008). *Documento Conpes 3547 Política Nacional Logística*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- ECO.Ingeniería S.A.S. (2005). *El yeso*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de ECO.Ingeniería S.A.S.: [http://www.ecoingenieria.org/docs/LOS\\_YESOS\\_2005.pdf](http://www.ecoingenieria.org/docs/LOS_YESOS_2005.pdf)
- Ecoprocesamiento. (2014). *Servicios*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Ecoprocesamiento:  
<http://www.ecoprocesamiento.com/servicios-coprocesamiento.html>
- EcuRed. (2015). *Óxido de Silicio*. Recuperado el 7 de Abril de 2015, de EcuRed conocimiento con todos y para todos: [http://www.ecured.cu/index.php/%C3%93xido\\_de\\_Silicio](http://www.ecured.cu/index.php/%C3%93xido_de_Silicio)
- EcuRed. (s.f.). *Caliza*. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de EcuRed: conocimiento con todos para todos: <http://www.ecured.cu/index.php/Caliza>
- El País Buenaventura. (16 de Enero de 2013). *Por primera vez, un barco con 50 mil toneladas de carga llega a Buenaventura*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de El País.com:  
<http://www.elpais.com.co/elpais/valle/noticias/con-50-mil-toneladas-yeso-llega-buque-grande-buenaventura>
- Empaques y Estibas Ltda. (2012). *Contacto: servicio al cliente*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Empaques y Estibas Ltda.:  
<http://www.empaquesyestibas.com/index.php/contactenos>
- Ferreléctricos Mora. (2013). *Cemtos Argos*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Ferreléctricos Mora:  
[http://www.ferrelectricosmora.com/contenidos/Info\\_Menu\\_Principal.php?Id\\_CN1=33](http://www.ferrelectricosmora.com/contenidos/Info_Menu_Principal.php?Id_CN1=33)
- Figueroa Alcázar, H. (19 de Enero de 2013). *Más contenedores y vehículos, en el puerto*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de El Universal:  
<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/economica/mas-contenedores-y-vehiculos-en-el-puerto-105362>
- Florez. (21 de Febrero de 2015). Entrevista 5. (M. Londoño, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Formilación Química. (2014). *SiO<sub>2</sub> / óxido de silicio*. Recuperado el 7 de Abril de 2015, de Formilaciónquímica.com: <http://www.formulacionquimica.com/SiO2/>

- Formulación Química. (2014). *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / óxido de aluminio*. Recuperado el 7 de Abril de 2015, de Formulaciónquímica.com: <http://www.formulacionquimica.com/Al2O3/>
- Gebr. Pfeiffer. (2015). *Experiencia operativa con el molino vertical de rodillos MVR de Pfeiffer y MultiDrive®*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de Gebr. Pfeiffer: <http://www.gpse.de/es/domicilio/el-nuevo-molino-de-rodillos-vertical-mvr-gebr-pfeiffer-tecnica-de-molienda-segura-para-grandes-producciones.html>
- Giraldo, O. (2003). *Manual de cemento calcareos*. Medellín: Estructuras de Hormigon 1.
- González Blanco, R. (2005). *Manual de estiba para mercancías sólidas*. Barcelona: U.P.C.
- Grupo Cementos Portland Valderrivas. (2010). *Productos - En el Mundo - EEUU - Reciclaje - Información Adicional*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Grupo Cementos Portland Valderrivas: <http://www.valderrivas.es/es/portal.do?TR=C&IDR=127>
- Guerrero Hernández, C. J. (Mayo - Agosto de 2011). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 5(14), 3-14.
- Hernández, M. (6 de Marzo de 2015). Fotos planta cementera. Ibagué, Colombia.
- Higueras Higueras, P., & Oyarzun Muñoz, R. (2015). *Rocas y yacimientos de precipitación química*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de Universidad de Castilla - La Mancha: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM8.html>
- Holcim Colombia. (2015). *Cemento*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Holcim Colombia: <http://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento.html>
- Holcim Colombia. (2015). *Localización plantas*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Holcim Colombia: <http://www.holcim.com.co/nuestra-empresa/localizacion-plantas.html>
- Holcim Colombia. (2015). Saco para empacado de cemento. *Recomendaciones de almacenamiento*. Nobsa, Colombia.
- Holcim Colombia. (s.f.). *Planta de Cemento*. Recuperado el 9 de Marzo de 2015, de Holcim Colombia: <http://www.holcim.com.co/nuestra-empresa/localizacion-plantas/planta-de-cemento.html>
- Holcim Colombia S.A. (2010). *Co-procesamiento de residuos en el marco sostenible de la industria*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Consejo empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible: [http://www.cecodes.org.co/descargas/casos\\_sostenibilidad/casosind/holcim1.pdf](http://www.cecodes.org.co/descargas/casos_sostenibilidad/casosind/holcim1.pdf)

- Holcim Costa Rica. (2015). *Sección del Accionista*. Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Holcim: <http://www.holcimnews.cr/accionistas/>
- Holcim España. (Octubre de 2011). *Ficha de datos de seguridad del clinker de cemento Portland*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de Holcim España: [http://www.holcim.es/fileadmin/templates/ESP/doc/Fichas\\_Seguridad\\_Cemento/FDS-clinker-Octubre11\\_01.pdf](http://www.holcim.es/fileadmin/templates/ESP/doc/Fichas_Seguridad_Cemento/FDS-clinker-Octubre11_01.pdf)
- HOLCIM New Zealand. (s.f.). *How cement is made (dry process technology): HOLCIM New Zealand*. Recuperado el 11 de octubre de 2014, de HOLCIM New Zealand: <http://www.holcim.co.nz/weston-project/how-we-make-cement/how-cement-is-made-dry-process-technology.html>
- Holcim, V. (Dirección). (2010). *Fabricación cemento Holcim* [Película].
- Hoss, G. (Dirección). (2005). *Así se hace: cemento* [Película]. Quebec: Discovery MAX.
- HW Carlsen. (2015). *Carlsen: Sistema de auto-carga y descarga para buques graneleros (para cemento)*. Recuperado el 10 de Abril de 2015, de Nautic Expo: <http://www.nauticexpo.es/prod/hw-carlsen/sistema-auto-carga-descarga-buques-graneleros-cemento-30689-293242.html>
- Iconcret. (2015). *Cisternas*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Iconcret: <http://iconcret.com/cisternas/>
- ICONTEC. (1966). *NTC 30 Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura*. Bogotá: Norma Técnica Colombiana.
- ICONTEC. (1982). *NTC 121 Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland, especificaciones físicas y mecánicas*. Bogotá: Norma Técnica Colombiana.
- ICONTEC. (1982). *NTC 31 Ingeniería civil y arquitectura. Cemento. Definiciones*. Bogotá: Norma técnica colombiana.
- ICONTEC. (1982). *NTC 321 Ingeniería civil y arquitectura. Cemento Portland, especificaciones químicas*. Bogotá: Norma Técnica Colombiana.
- ICONTEC. (2014). *NTC 121: Especificación de desempeño para cemento hidráulico*. ICONTEC.
- IECA. (2014). *Componentes y propiedades del cemento*. Recuperado el 03 de marzo de 2014, de IECA, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones: [https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id\\_rep=179](https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179)

- Instituto Geológico y Minero de España. (2004). *Panorama minero: histórico 2003 - 2004*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de Instituto Geológico y Minero de España: [http://www.igme.es/PanoramaMinero/Historico/2003\\_04/OXHIER04.pdf](http://www.igme.es/PanoramaMinero/Historico/2003_04/OXHIER04.pdf)
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2009). Cementos hidráulicos: Especificaciones y métodos de prueba. *El concreto en la obra: Problemas, causas y soluciones*, 68-71.
- Kurmaran, G., & Martínez, S. (2008). Evolución reciente de la industria de cemento: un estudio comparativo entre México y la India. *PORTES*, 165-202.
- La Nota.com. (28 de Mayo de 2014). *Ranking 2013 líderes sector carbón de Colombia*. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de La Nota.com: <http://lanota.com/index.php/CONFIDENCIAS/Ranking-2013-lideres-sector-carbon-de-Colombia.html>
- Labahn, O. (1985). *Prontuario del cemento*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.
- Legis. (2015). *Cubiertas fibrocemento*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Construdata: <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/R/r120cubiertasfibrocemento/r120cubiertasfibrocemento.asp>
- Leiva, A. (2013 de Mayo de 2013). Evaluación de Yacimientos. Santiago de Chile, Chile.
- Libreros, A. (2013). Políticas para el proceso de compras en la empresa Cemex Colombia S.A. Bogotá, Colombia.
- Liming. (2013). *Debemos prestar atención a los asuntos de hornos rotativos de instalación*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de Liming: <http://www.trituradora-piedra.com.mx/equipo/debemos-prestar-atencion-a-los-asuntos-de-hornos-rotativos-de-instalacion.html>
- Medina. (24 de Febrero de 2015). Entrevista 6. (M. Hernandez, M. Londoño, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Megia, J. (2014). *Los usos del fibrocemento en la construcción*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de ARQHYS: Arquitectura: <http://www.arqhys.com/casas/fibrocemento.html>
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). *Censo Minero Departamental Colombiano*. Bogotá: Minminas.
- Ministerio de Minas y Energía. (2 de Febrero de 2015). *Análisis de la producción de Cemento, Clinker y Caliza Cementera, para el año 2014, segundo semestre, cuarto trimestre y mes de diciembre*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía.

- Ministerio de Transporte. (2011). *Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte Automotor de Carga SICE-TAC*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de Mintransporte: <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones.php?id=359>
- Ministerio de transporte. (15 de Febrero de 2013). Resolución 377. "Por la cual se adopta e implementa el registro nacional de despachos de carga - RNDC". Bogotá, Colombia.
- Moreno, J. (18 de septiembre de 2013). *Teoría de la localización*. Recuperado el 03 de marzo de 2014, de Economía del transporte: [http://www.ehu.es/Jmoreno/transporte.htm#Tema\\_2](http://www.ehu.es/Jmoreno/transporte.htm#Tema_2)
- Museo Geológico Virtual de Venezuela. (1997). *Caliza*. Recuperado el 30 de Marzo de 2015, de Museo Geológico Virtual de Venezuela: <http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/caliza.htm>
- National Ready Mixed Concrete Association. (2008). *El Concreto en la practica ¿Qué, Por qué y como?: CIP 30 - Adiciones al Cemento*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de NRMCA National Ready Mixed Concrete Association: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP30es.pdf>
- Olvera Venegas, P. N., & Hernández Cruz, L. E. (Enero de 2014). *El caolín y sus aplicaciones industriales*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: <http://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html>
- Osorio, J. D. (22 de Marzo de 2015). *Seguridad industrial en la entrega del cemento y concreto*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de BLOG 360° EN CONCRETO: <http://blog.360gradosenconcreto.com/seguridad-industrial-en-la-entrega-del-cemento-y-concreto/>
- Oxbow. (2013). *Petroleum Coke*. Recuperado el 11 de Abril de 2015, de Oxbow: [https://www.oxbow.com/Products\\_Energy\\_Products\\_Petroleum\\_Coke.html](https://www.oxbow.com/Products_Energy_Products_Petroleum_Coke.html)
- Pacasmayo. (2015). *Prefabricados de concreto*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Pacasmayo: el especialista en cemento: <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/prefabricados/>
- Quintero. (6 de Febrero de 2015). Entrevista 3. (M. Hernandez, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Restrepo Restrepo, C. (25 de Agosto de 2013). *Cemento y concreto*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de Propiedad pública: apropiación social del conocimiento: <http://www.propiedadpublica.com.co/cemento-y-concreto/214.html>
- Rios Wilches, R. (1 de Mayo de 2014). *Empaques y Embalajes*. Bogotá, Colombia.
- Rodriguez. (26 de Octubre de 2014). Entrevista 2. (M. Hernandez, & C. Nieves, Entrevistadores)

- Ruiz, J., Gaitán, J., & Morato, J. (2005). *Logística comercial*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- Sanchez, R. (1 de Enero de 2006). *Banda transportadora, planta de cemento Caracolito, frene a Payande*. Recuperado el 19 de Abril de 2015, de Panoramio:  
<http://www.panoramio.com/photo/5409936>
- Serna. (14 de Abril de 2014). Entrevista 1. (M. Hernandez, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Servicio al cliente Homecenter. (20 de Agosto de 2014). Vista Constructor.
- Shutterstock. (s.f.). *Vector de camión volquete*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de CLIPARTLOGO: [http://es.clipartlogo.com/premium/detail/tipper-truck-vector\\_71533012.html](http://es.clipartlogo.com/premium/detail/tipper-truck-vector_71533012.html)
- Siemens AG. (2015). *Continue saving electrical energy in cement plants*. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de Siemens:  
<http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/magazines/process-news/cement/Pages/optimizing-plant-conditions.aspx>
- Silva. (16 de Febrero de 2015). Entrevista 4. (M. Hernandez, & C. Nieves, Entrevistadores)
- Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO. (Agosto de 2013). *Serie de tiempo historica de producción de Clinker*. Recuperado el 9 de Abril de 2015, de Ministerio de minas y energía: Colombia minera:  
[http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=203&grupo=551](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=203&grupo=551)
- Sistema de Información Minero Colombiano SIMCO. (2014). *Serie de tiempo historica de producción de caliza*. Recuperado el 29 de Marzo de 2015, de Ministerio de Minas y Energía: Colombia Minera:  
[http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=110&grupo=346&FechaInicial=01/01/1940&FechaFinal=31/12/2014](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Series.aspx?idmodulo=4&tiposerie=110&grupo=346&FechaInicial=01/01/1940&FechaFinal=31/12/2014)
- Smurfit Kappa. (2014). *Sacos con Válvula*. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de Smurfit Kappa: [http://www.smurfitkappa.com/vHome/co/Products/Paginas/Valve\\_Sacks.aspx](http://www.smurfitkappa.com/vHome/co/Products/Paginas/Valve_Sacks.aspx)
- Smurfitkappa. (2014). *Papel Kraft para sacos*. Recuperado el 28 de Marzo de 2015, de Smurfit Kappa: [http://www.smurfitkappa.com/vHome/co/Products/Paginas/Sack\\_Paper.aspx](http://www.smurfitkappa.com/vHome/co/Products/Paginas/Sack_Paper.aspx)
- Superintendencia de Sociedades. (29 de Abril de 2013). Formulario Empresarial 860002523 Cemex Colombia S.A. Bogotá, Colombia.
- Superintendencia de Sociedades. (29 de Abril de 2013). Formulario empresarial 890100251 Cementos Argos S.A. Medellín, Colombia.

- Superintendencia de Sociedades. (2 de Abril de 2014). Formulario Empresarial 830099238 Cementos Tequendama S.A.S. Bogotá, Colombia.
- Superintendencia de Sociedades. (26 de Marzo de 2014). Formulario Empresarial 860009808 Holcim Colombia S.A. Bogotá, Colombia.
- Talleres Alquézar S.A. (2014). *Clarificadores fijos*. Recuperado el 21 de Abril de 2015, de Alquezar: <http://www.talleresalquezar.es/ES/categoria/clarificadores-fijos/67>
- TITAN. (2015). *Soluciones integrales para cada necesidad*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de TITÁN: <http://www.titancemento.com/espanol/component/ourproducts/?Itemid=444>
- Torres, J. (2010). Análisis comparativo de caolines de diferentes fuentes para la producción de metacaolín. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 39-45.
- Trituradoras y Molinos. (18 de Mayo de 2012). *Venta de molino de bolas en Perú*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de Trituradoras y Molinos: <http://www.trituradoras-machacadora.mx/blog/venta-de-molino-de-bolas-en-peru-vendo-molino-de-bolas-en-peru-molino-de-bolas-en-peru.html>
- Ultracem. (2015). *Productos*. Recuperado el 9 de marzo de 2015, de Cemento y concreto Ultracem: <http://www.ultracem.co/productos/cementos/cemento-gris/tipo-i-uso-general/>
- Ultracem. (2015). *Ubicación*. Recuperado el 13 de Abril de 2015, de Ultracem: <http://www.ultracem.co/nosotros/ubicacion/>
- Unidad de Planeación Minero energética UPME. (Noviembre de 2005). *Distritos mineros, exportaciones e infraestructura de transporte*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de UPME: [http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos\\_Mineros.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Distritos_Mineros.pdf)
- Universidad de Oviedo. (2010). *Tecnología de fabricación del cemento: Introducción*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Universidad del Rosario. (Abril de 2013). *Documento descriptivo de la líneas de investigación*. Bogotá: Facultad de Administración - Dirección de investigaciones.
- Universidad Nacional de Educación a Distancia. (2008). *Yeso*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de UNED: <http://www.uned.es/cristamine/fichas/yeso/yeso.htm>
- Uribe, G., Ramirez, M., & Olano, D. (Mayo de 2014). *Visita Planta de Cartagena*. Recuperado el 19 de Abril de 2015, de Argos Colombia: [http://www.argos.co/ir/Media/Default/images/Recorrido%20Planta%20Cartagena%20Cementos%20Argos\\_Mayo%202014.pdf](http://www.argos.co/ir/Media/Default/images/Recorrido%20Planta%20Cartagena%20Cementos%20Argos_Mayo%202014.pdf)
- Vega. (26 de Marzo de 2015). Entrevista 9. (M. Hernandez, & C. Nieves, Entrevistadores)

- Wehrhahn. (2015). *Producción de placas de fibrocemento en planta Wehrhahn*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de Wehrhahn:  
<http://www.wehrhahn.de/es/fibre/production/index.php>
- World Business Council for Sustainable Development: Cement sustainability initiative. (s.f.). *Cement Production*. Recuperado el 11 de octubre de 2014, de World Business Council for Sustainable Development: Cement sustainability initiative:  
<http://www.wbcscement.org/index.php/about-cement/cement-production>
- Yepes, V. (16 de Marzo de 2015). *¿Cuánto CO2 se emite cuando empleamos hormigón?* Recuperado el 23 de Abril de 2015, de Universitat Politecnica de Valencia:  
<http://victoryepes.blogs.upv.es/category/cemento/>
- Yesos Especializados de Mexico. (2009). *Fabricación del Yeso*. Recuperado el 8 de Abril de 2015, de Yesos Especializados de Mexico: <http://www.yesospecializados.com/yeso-fabricacion.html>
- Zapata, S. (20 de Mayo de 2014). *Logística de cementos Argos*. Recuperado el 26 de Abril de 2015, de Logistica argos: <http://argossantiago.blogspot.com/>