



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# Gestión de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile

---

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Máster en Planificación y Gestión en la Ingeniería Civil  
julio de 2018

**Director Académico:**

Víctor Yepes Piqueras.

**Autor:**

Pablo Troncoso López.



**Dedicado a mis padres,  
Hermanas y familia,  
Gracias por el apoyo  
brindado.**

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Planteamiento del problema. ....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Justificación de la investigación.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Hipótesis. ....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Alcances. ....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Objetivo General. ....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Objetivos secundarios. ....</b>	<b>14</b>
<b>1.</b>	<b>CAPITULO CONCEPTOS.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Concepto de Economía Circular. ....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Fundamentos de la Economía Circular. ....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Modelos de negocios de Economía Circular.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4</b>	<b>Valor agregado de la Economía Circular.....</b>	<b>19</b>
<b>1.5</b>	<b>Barreras de implementación de la Economía Circular. ....</b>	<b>19</b>
<b>1.6</b>	<b>Economía Circular a nivel mundial.....</b>	<b>20</b>
<b>1.6.1</b>	<b>Asia.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6.2</b>	<b>Europa.....</b>	<b>22</b>
<b>1.6.3</b>	<b>América.....</b>	<b>23</b>
<b>1.7</b>	<b>Economía Circular en la Construcción.....</b>	<b>24</b>
<b>2.</b>	<b>CAPITULO MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Recursos de una planta de asfalto. ....</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Descripción de los procedimientos de una planta de asfalto. ....</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>Residuos de la producción de mezcla asfáltica. ....</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Plantas de asfalto una producción lineal.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>Industria del Asfalto en Chile.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6</b>	<b>Extracción y adquisición de materias primas para mezclas asfálticas en Chile.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7</b>	<b>Normas chilenas ambientales aplicadas a la producción de mezcla asfáltica. ....</b>	<b>31</b>
<b>2.8</b>	<b>Normas internacionales ambientales aplicadas a la producción de mezcla asfáltica</b>	<b>33</b>
<b>2.9</b>	<b>Estado del arte de gestión de residuos de la producción de mezcla asfáltica. ....</b>	<b>35</b>
<b>2.9.1</b>	<b>Tipos de Reciclaje y reutilización de desechos de la producción de mezcla asfáltica. ....</b>	<b>36</b>
<b>2.9.2</b>	<b>Reutilización del desecho de mezcla asfáltica (RAP) en mezclas calientes de asfalto. ....</b>	<b>38</b>
<b>2.9.3</b>	<b>Reutilización del desecho de mezcla asfáltica (RAP) en mezclas frías de asfalto.....</b>	<b>40</b>
<b>2.9.4</b>	<b>Reciclaje del desecho de mezcla asfáltica (RAP) .....</b>	<b>42</b>

2.10	Reducción y minimización de materias primas en la producción de mezcla asfáltica.	43
2.11	Disminución de los desechos y residuos en la producción de mezcla asfáltica. ....	47
2.12	Equilibrio eficiente de energía y procesos constructivos ecológicos en la producción de mezcla asfáltica. ....	48
2.13	Reducción de emisiones contaminantes en las plantas de producción de mezcla asfáltica. ....	50
2.14	Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico en la producción de mezcla asfáltica. ....	53
2.15	Barreras de implementación de la Economía Circular en producción de mezcla asfáltica. ....	55
3.	<b>CAPITULO 3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. ....</b>	<b>57</b>
3.1	Tipo de Investigación. ....	57
3.2	Diseño de la investigación. ....	57
3.2.1	Etaapa Metodológica y Teórica. ....	57
3.2.2	Etaapa de Validación empírica y analítica. ....	59
3.2.3	Aplicación de la encuesta. ....	59
3.2.4	Análisis y estudio de los resultados. ....	65
3.3	Población y Muestra. ....	65
3.3.1	Descripción de la población ..... 65	65
3.3.2	Descripción de la muestra. ....	66
3.3.3	Caracterización de la Encuesta. ....	66
3.3.4	Limitaciones de la encuesta. ....	71
3.4	Procedimientos de análisis de datos. ....	72
3.4.1	Estructuras de encuesta y análisis de respuesta cerradas con multivariable. ....	73
3.4.2	Análisis descriptivo. ....	79
3.4.3	Análisis de relación de variables. ....	88
3.4.4	Relaciones de variables cualitativas. Método Chi – cuadrados. ....	89
3.4.5	Prueba de Hipótesis Chi-cuadrado. ....	98
3.4.6	Análisis de correspondencia múltiples ..... 102	102
3.4.7	Regresión Lineal con variables cualitativas dicotómicas. ....	107
4.	<b>CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y DISCUSIONES. ....</b>	<b>109</b>
4.1	Discusiones de resultados. ....	109
4.1.1	Discusión del Marco Teórico y estado del arte. ....	109
4.1.2	La producción de mezcla asfáltica en Chile una producción lineal. ....	110
4.1.3	Implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile. ....	111



<b>4.1.4</b>	<b>Demografía de la muestra.....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Discusión resultados de la encuesta.....</b>	<b>113</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Relación de variables.....</b>	<b>114</b>
<b>4.2</b>	<b>Conclusiones de la investigación.....</b>	<b>115</b>
<b>4.3</b>	<b>Limitaciones de la investigación.....</b>	<b>118</b>
<b>4.4</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>118</b>
<b>4.5</b>	<b>Futuras líneas de investigación.....</b>	<b>119</b>
<b>5.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>130</b>

<b>Título:</b> Gestión de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.	
<b>Autor:</b> Pablo Troncoso López	
<b>Resumen Ejecutivo</b>	
<b>Planteamiento del problema a resolver</b>	Los grandes problemas ambientales que existen en el mundo actual. Han creado reacciones por parte de diferentes instituciones para hacer frente a estos problemas ambientales. La principal alternativa planteada internacionalmente es un sistema de Economía Circular. El cual consiste en un método cíclico de producción en el cual se gestionen los residuos de cada producción. Chile es uno de los pioneros en integrar el sistema de Economía Circular en Latinoamérica por esta razón que surge la interrogante del estado actual del sector de mezclas asfálticas en Chile, averiguar si este sector se encuentra preparado para las características de inicio que exigen las nuevas condiciones de un sistema de Economía Circular.
<b>Objetivos</b>	<b>Objetivo Principal:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar y analizar si la producción de mezcla asfáltica en Chile está preparada para considerarla como una producción de ciclo cerrado con las características de la Economía Circular.</li> </ul>
	<b>Objetivos Secundarios:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar existencia de normativa ambiental en Chile acerca Economía Circular.</li> <li>• Identificar existencia de normativa de Economía Circular nivel mundial.</li> <li>• Diagnóstico de la producción de mezcla asfáltica en Chile.</li> </ul>
<b>Estructura organizativa</b>	La presente investigación está definida en dos etapas. La primera etapa consiste en la búsqueda de la información la cual se define como la etapa metodológica y teórica. La segunda etapa es la validación empírica y analítica a través de una encuesta a un grupo de expertos en la producción de mezcla asfáltica en Chile, sus resultados son analizados por medio de procedimientos estadísticos.
<b>Método</b>	Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se desarrolló la siguiente metodología:
	<b>Fase Metodológica y Teórica</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda preliminar de información: Fase de contextualización y conceptos que conlleva la investigación.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda Bibliométrica (Base de artículo): Fase de búsqueda específica con palabras claves.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación de artículos científicos: clasificación de la información a través de palabras claves.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contexto de investigación: contextualización de la producción de mezclas asfálticas en Chile.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado del Arte: Análisis de artículos científicos relevantes, elaboración de marco teórico.</li> </ul>
<b>Validación Empírica y Analítica</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaboración de encuesta: encuesta dirigida a productores de mezcla asfáltica chilenos. Para identificar las condiciones y características de producción de mezcla asfáltica chilena con respecto a la Economía Circular.</li> </ul>	

	<p><b>Análisis de datos y Conclusiones.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de datos arrojados por la encuesta y corroborar la implementación del modelo de Economía Circular en la industria de mezcla asfáltica.</li> <li>• Conclusiones de investigación.</li> </ul>
<b>Cumplimientos de objetivos</b>	<p>Se ha cumplido con el objetivo principal de la investigación y sus objetivos secundarios por la siguientes razones:</p> <p><b>Objetivo Principal:</b> se ha identificado y analizado la producción de mezcla asfáltica con respecto a las condiciones de un modelo de Economía Circular. Bajo técnicas de producción identificadas en el estado del arte y consultadas en la encuesta.</p> <p><b>Objetivo Secundarios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se identificó la existencia de normativa ambiental acerca de la Economía Circular en Chile y normativa internacional.</li> <li>• Se desarrolló un diagnóstico de la producción de mezcla asfáltica en Chile bajo los parámetros de acción para la implementación de un sistema de Economía Circular.</li> </ul>
<b>Contribuciones</b>	<p>Entre las contribuciones aportadas por la investigación se destaca una analogía de las diversas técnicas de producción de mezcla asfáltica para la implementación de un modelo de Economía Circular. Esta analogía se puede utilizar de forma independiente en diferentes naciones donde se realiza producción de mezcla asfáltica.</p>
<b>Recomendaciones</b>	<p>Se recomienda promulgar el modelo de Economía Circular en todas las organizaciones del país. Promulgando leyes y normas que abarquen todas las organizaciones para implementar a un corto plazo el modelo de Economía Circular en Chile.</p>
<b>Limitaciones</b>	<p>Por poseer una población de plantas de asfalto tan reducida en Chile (118 plantas de asfalto) no se pudo tomar contacto con el total de la muestra por la dispersión geográfica del país solo se consiguió una población de 63 plantas. Que generaron un error muestral del 8.47%. Los errores comunes suelen fijarse en un 5% a 1%. Pero al ser una de las primeras investigaciones sobre este tema se acepta el error muestral.</p>

## Resumen.

La Economía Circular es un concepto económico que tiene relación con la sostenibilidad. Su objetivo principal es generar un valor agregado a través de los recursos y productos, para que estos se mantengan en la línea económica de producción el mayor tiempo posible y así de esta forma disminuir la generación de residuos.

Diversas organizaciones e instituciones están incentivando a través de sus leyes y normas la utilización de la producción de Economía Circular, es por esta razón que surge la interrogante en esta investigación de indagar en el estado actual del sector de mezclas asfálticas en Chile, averiguar si este sector se encuentra preparado para las características de inicio que exigen un sistema de Economía Circular, saber si Chile cuenta con normativa ambiental actualizada para hacer frente a estas condiciones mundiales de la Economía Circular, realizar un catastro tecnológico y productivo de mezclas asfálticas en función de un uso eficiente y razonable de los recursos a través de una encuesta a los productores de mezcla asfáltica chilenos.

Los resultados de esta investigación reflejan que la industria de la producción de mezcla asfáltica posee técnicas y procesos innovadores que permiten la implementación de un modelo de Economía Circular. La industria de producción de mezcla asfáltica chilena realiza acciones que permiten una implementación de Economía Circular pero faltan acciones en el ámbito de equilibrio energético y normalización de políticas medio ambientales para el incentivo de un modelo de producción cíclico. La investigación finaliza con recomendaciones que ayudan a la implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

**Palabras claves:** Economía circular, Reciclaje en la construcción, Economía circular en la construcción, Reciclaje de asfalto, Reutilización de residuos de asfalto, Reutilización de mezclas asfálticas

## Summary.

Circular Economy is an economic concept related to sustainability. Its main purpose is to generate added-value through resources and products, so that they remain in the economic production line for as long as possible, thus reducing waste.

Through their laws and regulations, various organizations and institutions are encouraging the use of the production of a Circular Economy. For this reason, the question arises in this study, to investigate the current state of the asphalt mix sector in Chile. As well, we need to find out if this sector is prepared to handle the startup traits that are demanded by a Circular Economy; to know if Chile has updated environmental regulations to deal with the global condition of a Circular Economy. Also, we need to carry out a technological and production registry of the asphaltic mixtures based on an efficient and reasonable use of resources through a survey of Chilean asphalt mix producers.

The results of this study reflect that the asphaltic mix production industry has innovative techniques and processes that allow the implementation of a Circular Economy model. The asphalt mix production industry in Chile performs actions that allow the implementation of a Circular Economy, although there are still initiatives that need to be taken in the energy balance field as well as normalizing environmental policies that provide incentives to promote a cyclical production model.

The investigation ends with recommendations that support the implementation of a Circular Economy model helping or enable for improvement in the production of asphalt mix in Chile.

**Key words:** Circular economy, Recycling in construction, Circular economy in construction, Asphalt recycling, Re-utilizing asphalt residues, Re-utilizing asphaltic mixes.

## Resum.

L'Economia Circular és un concepte econòmic que té relació amb la sostenibilitat. El seu objectiu principal és generar un valor agregat a través dels recursos i productes, perquè estos es mantinguen en la línia econòmica de producció el major temps possible i així d'esta manera disminuir la generació de residus.

Diverses organitzacions i institucions estan incentivant a través de les seues lleis i normes la utilització de la producció d'Economia Circular, és per esta raó que sorgix l'interrogant en esta investigació d'indagar en l'estat actual del sector de mescles asfàltiques a Xile, esbrinar si este sector es troba preparat per a les característiques d'inici que exigixen un sistema d'Economia Circular, saber si Xile compta amb normativa ambiental actualitzada per a fer front a estes condicions mundials de l'Economia Circular, realitzar un cadastre tecnològic i productiu de mescles asfàltiques en funció d'un ús eficient i raonable dels recursos a través d'una enquesta als productors de mescla asfàltica xilens.

Els resultats d'esta investigació reflectixen que la indústria de la producció de mescla asfàltica posseïx tècniques i processos innovadors que permeten la implementació d'un model d'Economia Circular. La indústria de producció de mescla asfàltica xilena realitza accions que permeten una implementació d'Economia Circular però falten accions en l'àmbit d'equilibri energètic i normalització de polítiques mig ambientals per a l'incentiu d'un model de producció cíclic. La investigació finalitza amb recomanacions que ajuden a la implementació d'un model d'Economia Circular en la producció de mescla asfàltica a Xile.

**Paraules claus:** Economia circular, Reciclatge en la construcció, Economia circular en la construcció, Reciclatge d'asfalt, Reutilització de residus d'asfalt, Reutilització de mescles asfàltiques.

## 1 Introducción.

Las acciones llevadas hasta ahora en la fabricación de productos han dado lugar para tomar medidas medio ambientales a nivel mundial en la producción de estos. La convivencia de la especie humana con el entorno natural se ha mal gastado y deteriorado a niveles preocupantes, reduciendo de manera irracional los recursos disponibles, afectando la economía global y medio ambiental. (García. S. 2016).

Los principales problemas ambientales que enfrenta la sociedad es disminuir la producción y disposición de desechos o residuos, el uso desmedido de recursos naturales utilizados como materias primas de diferentes producciones. (Murray, A. Skene, K. & Haynes, K. 2017).

El uso irracional de recursos naturales y generación de desechos se aprecian en el modo de producción lineal que poseen las industrias. En el cual se utilizan materias primas que se transforman en productos que luego de su ciclo de vida se convierten en residuos o desechos que se acumulan en grandes depósitos sin hacer nada con ellos.

Los diferentes estados a nivel mundial están preocupados por la gran generación de residuos que genera un modelo lineal de producción. Es por esta razón que están incentivando el reciclaje y reutilización de sus residuos a través de la responsabilidad del productor. Esto quiere decir que las organizaciones deberán gestionar y planificar una nueva vida útil para sus residuos. (Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. 1997).

Uno de los primeros concepto para enfrentar el modelo de producción lineal fue el concepto de “desarrollo sostenible” en el año 1992. Este concepto se implementa con el objetivo que impone la variable medio ambiental en un ámbito económico empresarial. Posteriormente este concepto muta a uno denominado “Economía de bucles cerrado” este nuevo concepto busca imponerse como un modelo de negocio y no tan solo como un movimiento ecológico. (Balboa, C. H., & Somonte, M. D. 2014). Al final de todas estas transformaciones se llega al modelo de Economía Circular.

Bajo este concepto de Economía Circular en esta investigación presenta una revisión de la literatura y un análisis sobre este modelo cíclico de producción. En particular se reconocen los principios de implementación de este modelo y se busca una analogía de implementación con el rubro industrial de la producción de mezcla asfáltica. Para comprobar si la producción de mezcla asfáltica en Chile cumple con el modelo de Economía Circular.

## 2 Planteamiento del problema.

Los graves problemas medio ambientales presentes hoy en día han provocado que todas las instituciones a nivel mundial modifiquen sus leyes y normas ambientales hacia una alternativa de Economía Circular. La cual consiste en un cambio en la creación de productos o servicios basada en una producción cíclica en donde se pueden reincorporar o reutilizar desechos o desperdicios de la propia producción y así de esta manera cerrar ciclos productivos. Las diversas organizaciones e instituciones están incentivando a través de sus leyes y normas la utilización de la producción de Economía Circular, es por esta razón que surge la interrogante de investigar el estado actual del sector de mezclas asfálticas en Chile, averiguar si este sector se encuentra preparado para las características de inicio que exigen las nuevas condiciones medio ambientales mundiales actuales para considerarlo un proceso cíclico de producción, saber si Chile cuenta con normativa ambiental actualizada para hacer frente a estas condiciones mundiales de la Economía Circular, realizar un catastro del mejoramiento tecnológico y productivo de mezclas asfálticas en función de un uso eficiente y razonable de los recursos.

## 3 Justificación de la investigación.

La investigación está basada en la siguiente interrogante: ¿La producción de mezcla asfáltica en Chile se puede considerar como una producción de ciclo cerrado con las características de una Economía Circular?

Si la respuesta es afirmativa se validara sus procesos productivos con la características de la Economía Circular, si por el contrario es negativo se recomendaran una serie de características a considerar para lograr un nivel de producción de ciclo cerrado validado por una Economía Circular.

#### **4 Hipótesis.**

- La industria de producción de mezcla asfáltica en Chile, bajo sus características se puede considerar como un proceso de ciclo cerrado de Economía Circular.

#### **5 Alcances.**

La investigación estará enfocada en la producción de mezcla asfáltica de Chile. Se indagará en la normativa ambiental propia e internacional comparándolas entre sí, también se investigará sobre las tecnologías de producción de mezcla asfáltica chilena y de su gestión de residuos producidos.

El trabajo de investigación se centra en tres grandes hitos. En primer lugar se encuentra la búsqueda de información de normativa ambiental nacional e internacional, en segundo lugar el diagnóstico y análisis de la producción de mezcla asfáltica chilena y por último la síntesis de la información y posteriores conclusiones.

## 6 Objetivo General.

- Identificar y analizar si la producción de mezcla asfáltica en Chile está preparada para considerarla como una producción de ciclo cerrado con las características de la Economía Circular.

## 7 Objetivos secundarios.

- Identificar existencia de normativa ambiental en Chile acerca Economía Circular.

Verificar la existencia de normativa ambiental en Chile. Si hace referencia a la economía circular y como afecta a la producción de mezcla asfáltica. Ver si las plantas de producción de mezcla asfáltica cumplen la normativa.

- Identificar existencia de normativa de Economía Circular nivel mundial.

Ver la normativa ambiental de otros países que afectan a la producción de mezcla asfáltica y compararla con las de Chile. Comprobando sus ventajas o desventajas para así poder realizar un aporte a la normativa existente.

- Diagnóstico de la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Realizar un diagnóstico de la producción de mezcla asfáltica en relación al ámbito ambiental. Averiguar si el sector realiza un aprovechamiento de los recursos posterior su utilización, saber si realizan reciclado, conocer las tecnologías actual del sector de la mezcla asfáltica con respecto a la mitigación de residuos, saber los usos posteriores de sus productos finales.

## 1. CAPITULO CONCEPTOS.

### 1.1 Concepto de Economía Circular.

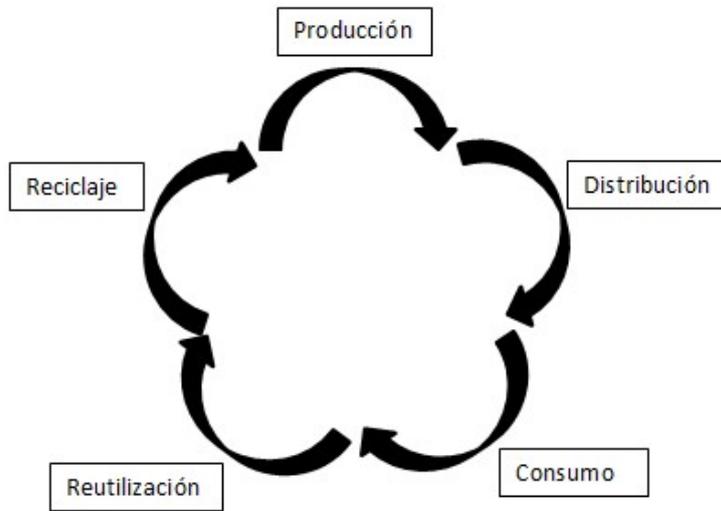
La Economía Circular está sustentada en principios ecológicos. Plantea un cambio en la filosofía de reciclaje, reducción y reutilización por una transformación más duradera de la producción disminuyendo el impacto causados por la acciones de producción lineal sobre el medio ambiente. El modelo de Economía Circular da un papel principal a los residuos o desechos, se fundamenta en la reutilización inteligente del desperdicio a través de un sistema cíclico que simula a la naturaleza permitiendo incorporar los desperdicios de forma positiva en ella, de esta manera los desechos y residuos pierden las características de desperdicios y pasan a convertirse en materia prima de estos ciclos naturales o formar parte de nuevas tecnologías de productos, utilizando un mínimo gasto energético. (Lett. Lina A, 2014)

La filosofía de la Economía Circular rompe con el proceso establecido de la producción lineal. Propone el cambio de producción cíclico, en el cual se produce una menor reducción de materias primas y recursos por un aprovechamiento de los desperdicios. Las aplicaciones prácticas de este modelo han ido aumentando en los últimos años para solucionar sistemas económicos y procesos industriales principalmente. (Hermida, C. Domínguez, M, 2013),

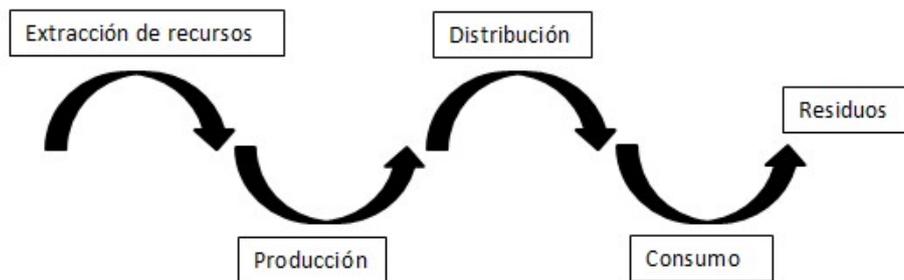
El modelo de producción lineal que se ha utilizado actualmente a nivel mundial ha afectado la economía global y el medio ambiente. La Economía Circular plantea una integración entre la actividad económica y el medio ambiente a través de una planificación y gestión de reproceso diseñados para lograr la maximización del funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar ambiental. (Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. 2017).

El modelo de Economía Circular impone una nueva forma de gestionar los procesos de producción industrial. Los procesos que manifiestan los cambios de esta gestión de Economía Circular son la explotación de la materia prima, diseño del producto y su fabricación, las redes de distribución, el uso de recursos energéticos. En estos procesos se puede distinguir los cambios de gestión de la Economía Circular porque su participación es protagonista en la generación de residuos por el cambio de recursos a producto en la fabricación. *“La Economía Circular es un concepto que permite disociar el crecimiento con las limitaciones de los recursos”*. (Vásquez, A. C, 2016).

### Modelo Economía Circular.



### Modelo Economía Lineal.



**Ilustración 1** Comparación entre economía lineal y economía circular, Elaboración Propia.  
**Fuente:** Ellen Macarthur Foudation 2013.

## 1.2 Fundamentos de la Economía Circular.

Los Fundamentos de la Economía Circular se centran principalmente en un modelo de ecología inteligente. En el cual los procesos productivos tratan de disminuir los daños que causan al planeta y al medio ambiente, considerando los procesos que tienen menos repercusiones en el planeta a través de planificaciones previas de producción. (Ramírez Juidías. E, y Galán Ortiz, L. 2006).

Existen tres fundamentos o principios elementales de la Economía Circular. Estos son reconocidos y distinguidos por la Agencia Europea de medio ambiente, son los siguientes. (Cerde, E. y Khalilova, A. 2016)

- I. Incrementar y conservar los recursos naturales, controlando las existencias de materias primas naturales limitadas y nivelando los recursos renovables.

- II. Optimización de los recursos naturales, permitiendo la circulación cíclica de los productos, materiales y componentes en los ciclos técnicos y biológicos propios de cada proceso.
- III. Promover la efectividad del sistema cíclico, eliminando los procesos lineales de producción.

Con estos principios definidos de la Economía Circular, surgen las siguientes características claves de este método productivo cíclico. (Cerda, E. y Khalilova, A. 2016)

- I. Reducción y minimización de materias primas e insumos de recursos naturales. A causa de una utilización eficiente de los recursos naturales minimizando y optimizando estos recursos lo que proporciona un mayor valor del producto con menos materiales.
- II. Equilibrar de manera eficiente la cantidad de energía, recursos renovables y reciclables de los procesos productivos. esto se realiza reemplazando los recursos no renovables por renovables, mayores proporción de materiales reciclables que reemplacen a las materias primas y por ultimo extracción de materias primas de manera sostenible.
- III. Reducción de emisiones contaminantes. se realiza a través de la minimización de emisiones a lo largo de todo el proceso productivo con el menor uso de unidades de materias primas y la obtención sostenible y responsable de estos recursos naturales.
- IV. disminución de los desechos y residuos. el método de producción cíclico permite minimizar la acumulación de desechos, la cantidad de residuos vertidos y bajar las pérdidas por disipación de los recursos que tienen valor en la producción.
- V. Mantener los costes y valor de los productos, componentes y materiales de la producción. reutilizando los componentes a través del reciclaje de alta calidad.

### 1.3 Modelos de negocios de Economía Circular.

La implementación de un modelo de Economía Circular para una organización es una transición de cambio de los fundamentos socio económicos. Ya que para reutilizar los residuos de la producción de cada organización es necesario planificar y gestionar los recursos para volver a reincorporarlos y cerrar el ciclo productivo de este nuevo modelo económico. (García. S, 2016).

Existen cinco modelos de negocios que se fundamenta en los conceptos de la economía circular que ya están presente en organizaciones a nivel mundial:

**Sistemas Productos Servicios:** Este modelo de negocio está basado en entregar productos a través de servicios para satisfacer las necesidades del consumidor del producto. Se considera un modelo de negocio innovador basado en la Economía Circular ya que el servicio por el cual se otorga el producto es normalmente un arriendo del

producto hacia el consumidor, por ende la vida útil del producto no pasa a ser un desecho del consumidor sino que se devuelve al productor para realizar la gestión del residuo.

Este modelo de negocio es común en organizaciones que venden productos tecnológicos los cuales poseen una vida útil corta por su alto nivel de recambio tecnológico. Es por esto que las organizaciones generadoras de estos productos realizan arriendos de sus productos para que el cliente pueda generar el recambio tecnológico y así de esta forma gestionar los residuos de sus propios productos.

**Segunda vida de materiales y productos:** Este modelo de negocios se realiza cuando las organizaciones recuperan sus productos los reacondicionan y generan una nueva venta de estos. Este modelo se considera como principio de Economía Circular ya que el producto cuando cumple su vida útil se reacondiciona y se incorporan nuevamente en el mercado.

Este modelo de negocio es utilizado normalmente en la industria textil ya que la ropa se puede revender como segunda mano. Otra industria que utiliza este modelo de negocios es la venta automotriz en cual se vende automóviles de segunda mano en gran parte del mundo.

**Reciclaje dos punto cero:** Este modelo de negocio está basado en las innovaciones que agregan valor añadido a los productos por cada innovación que realizan las organizaciones, este modelo de negocio ha tomado un gran auge en el último tiempo ya que se ha incentivado la innovación en las organizaciones y el resguardo del medio ambiente.

**Transformación de productos:** La mayoría de los productos se encuentran compuestos por varios materiales los cuales poseen un valor propio. Este modelo de negocio se basa en la recuperación de los residuos de los productos para procesarlos nuevamente y reciclar u ocupar uno de sus componentes para realizar nuevos negocios con este nuevo producto.

Este modelo se considera como una Economía Circular ya que utiliza el concepto de reciclaje de partes de un producto, las cuales se pueden ocupar como repuestos de otras partes.

**Consumo Colaborativo:** Este modelo de negocios se basa en un consumo colaborativo entre dos organizaciones en cual tiene por objetivo satisfacer una necesidad real o potencial de alguna. Es concepto de negocio atacan problemas medio ambientales y energéticos en cual entre dos organizaciones se dividen los gastos de energía que poseen cada una.

## 1.4 Valor agregado de la Economía Circular.

El valor agregado de una Economía Circular se manifiesta en los productos generados. Ya que su principal objetivo es mantener en la economía los materiales y los recursos durante el mayor tiempo posible reduciendo la generación de los residuos. Bajo este concepto se pueden crear nuevas opciones de negocios para las organizaciones o agregar valor a sus productos ya que se crea una conciencia medio ambiental y un bajo costo de producción por la reutilización de sus residuos. (Hermida, C. y Domínguez, M, 2013).

La Economía Circular agrega seguridad en los suministro de materias primas. En un escenario de escasez y cambios de los precios de las materias primas la propia organización productora se encarga de generar sus recursos de producción a través de la gestión de residuos. O los residuos de otra organización pueden formar parte de los recursos de la organización. Bajo esto conceptos las organizaciones deben diseñar sus productos para ser descompuesto o de fácil desarme. (Potti, J. J. 2014)

La prolongación y aumento del sistema de Economía Circular en las organizaciones requiere la intervención de nuevas técnicas de ingeniería de producción. Apoyadas por políticas públicas gubernamentales y sociales para que el ciclo de producción se pueda cerrar y llevar a cabo. (Sarabia-Guarin, A., Sánchez-Molina, J., y Leyva-Díaz, J. C. 2017).

## 1.5 Barreras de implementación de la Economía Circular.

Las barreras de implementación de Economía Circular se conocen como puntos de fuga. Debido a que no permiten un cierre del ciclo natural de la producción de un producto si no que estas barreras permiten un escape de flujo de producción desperdiciando los desechos o aumentando la utilización de materias primas. Los puntos de fugas más relevantes son:

1. Dispersión geográfica provoca puntos de fugas.

La mayoría de los productos que se fabrican se encuentran constituidos por una gran cantidad de materiales y componentes proveniente de distintos países. Se ha creado a través de la globalización un crecimiento económico mediante la maximización de dirección de materiales y costos de los productos. Para llevar a cabo una Economía Circular se debe analizar la dispersión geográfica para que no se produzcan puntos de fuga en los ciclos de producción cíclica de la Economía Circular. (Vásquez, A. C. 2016).

## 2. Clasificación de la cadena de suministro.

La barrera de clasificación de la cadena de suministro está condicionada por la vida útil posterior del producto fabricado. Cuando el producto pasa a ser un residuo y por diversos factores se encarece su reutilización, alguno de estos factores son por ejemplo el transporte desde el lugar que termina su vida útil hasta la fase de la nueva utilización es por esta razón que en la mayoría de los casos se corta el ciclo de suministro como residuos de reutilización.

## 3. Fugas provocadas por el incremento de materiales.

El incremento de materiales se ha producido por la continua búsqueda de las organizaciones por conseguir un mayor valor a sus productos a través de sus materiales.

Debido a esta complejidad buscada en los materiales es que resultan difíciles y costosos los procesos de separación de materias primas para su reutilización y no asegura la calidad de las materias primas puras.

## 4. Seguir en procesos de sistemas lineales.

La mayor de barrera que presenta la implementación de una Economía Circular es seguir una producción con fundamentos de la producción lineal. Se distinguen tres factores que provocan esta barrera:

- Falta de facilitadores en la transición: se refiere a que no existe una buena comunicación o enlaces que faciliten la recirculación de los residuos para volver utilizarlos, entre procesos de diferentes organizaciones.
- Capacidades inversas de infraestructuras y logística: son imprescindibles para una buena gestión de residuos y reutilización.
- Mercado de escala: existe una gran deficiencia de estos mercados a nivel industrial para materiales adecuados de producción cíclica, lo que hace difícil para las empresas asegurar el suministro de materiales secundarios para completar o reemplazar las materias primas. (Vásquez, A. C. 2016).

## 1.6 Economía Circular a nivel mundial.

Uno de los mayores problemas medio ambientales a nivel mundial es el agotamiento de recursos naturales. Esto ha obligado a diferentes entidades mundiales a reformular una forma de producción de sus empresas cambiando el modelo tradicional lineal a una producción cíclica de Economía Circular. Aumentando las tasas de fabricación en productos finales del tipo lineal. (Chacin, J., & Abreu, Y. J. 2015).

La decisión común que han afrontado diferentes gobiernos por el cambio de producción lineal a cíclica está basada en la limitación de los recursos naturales, los beneficios económicos y medio ambientales, que este cambio conlleva. El manifiesto de la Comisión Europea de eficiencia en recursos energéticos emitido en diciembre del 2012, establece lo siguiente:

*“En un mundo con crecientes presiones sobre los recursos y medio ambiente, la Unión Europea no tiene otra opción que ir a la transición de una economía eficiente en recursos y, en definitiva regenerativa circular. Nuestros puestos de trabajo y competitividad futuras, como un gran importador de recursos, dependen de nuestra capacidad de obtener más valor añadido, y lograr el desacoplamiento total, a través de un cambio sistémico en el uso y recuperación de los recursos en la economía”. (World Economic Forum, 2014)*

En este manifiesto se expresa a todos los involucrados que motiven la innovación e inversión en la producción del tipo circular. Promoviendo una gestión en la totalidad de la producción de los productos, controlando y mejorando los rendimientos de los recursos naturales, mejorando de forma eficiente la economía y disminuir los problemas medio ambientales.

Diferentes gobiernos han proporcionado incentivos y recompensas por la implementación de modelos de producción del tipo cíclico. Aumentando los costes de los modelos lineal.

### 1.6.1 Asia.

La mayoría de los países asiáticos han volcado su sistema económico a los modelos de la Economía Circular es el caso de sus grandes potencias Japón y China. La implementación del modelo de Economía Circular se debe al déficit de materias primas y el aumento de residuos debido a la gran población que poseen estos países.

Japón depende de gran medida de la importación de energías, sobre estas condicionantes este país plantea sus políticas públicas bajo el crecimiento sostenible y responsable.

China es el país que posee la mayor implementación de Economía Circular. A través de una ley de Economía Circular han implementado un plan de contingencia medio ambiental de cinco años para promover una producción industrial libre de contaminación, mucho más limpia y un control de residuos integral para mejorar la reutilización de estos y disminuir la utilización de recursos naturales. Como resultado de esta implementación se obtuvo una protección del medio ambiente a través del desarrollo sustentable del país. (Murray, A., Skene, K., y Haynes, K. 2017).

Japón para mantener el crecimiento sostenible se basa en tres factores fundamentales. El primer factor es la reducción de emisiones en base a petróleo y la optimización de las estructuras industriales para mejorar la eficiencia energética, en segundo lugar tenemos la motivación en el aumento de la participación de sociedades a través de la educación y campañas públicas, por último es una legislación medio ambiental que establece un sistema jurídico integral que regule la gestión de residuos y estandarice las sanciones que se lleven a cabo. (World Economic Forum, 2014).

Uno de los ejemplos de las leyes impartidas por Japón es la utilización eficiente de recursos naturales. La ley se enfoca en todo el ciclo de la producción de un producto minimizando los residuos desde el productor hasta el consumidor final. Estos residuos o desechos se gestionan para su mitigación a través de distintas formas, se realizan revisiones periódicas a las diversas industrias para proporcionar visiones generales de los flujos de estos residuos estableciendo seguimientos, mediciones y objetivos para su reducción. Incentivando monetariamente a las industrias que cumplan con los objetivos establecidos. (World Economic Forum, 2014).

China es el país que posee la mayor implementación de Economía Circular. A través de una ley de Economía Circular han implementado un plan de contingencia medio ambiental de cinco años para promover una producción industrial libre de contaminación, mucho más limpia y un control de residuos integral para mejorar la reutilización de estos y disminuir la utilización de recursos naturales. Como resultado de esta implementación se obtuvo una protección del medio ambiente a través del desarrollo sustentable del país. (Murray, A., Skene, K., y Haynes, K. 2017).

Para llevar estos planes de implementación de Economía Circular el país ha realizado importantes inversiones en ciencia y tecnología sostenible para el desarrollo. Incluyendo aplicaciones de técnica de producción cíclicas orientadas a las industrias y desarrollos eco industriales según la ubicación geográfica de las industrias en el país.

China está muy comprometida con la Economía Circular. La mayoría de sus proyectos de implementación de Economía Circular han cumplido con sus objetivos fijados. Logrando una reducción del 67% en energía, aumentando un 42% el reciclado de aguas. Sus próximos objetivos serán legitimar las decisiones medio ambientales a través de indicadores de la utilización de energía directa o indirecta utilizada en procesos industriales de producción. (World Economic Forum, 2014).

### 1.6.2 Europa.

*“En la Unión Europea las medidas de economía circular se pueden encontrar en diversas políticas medio ambientales y económicas. La Unión Europea ha establecido objetivos de las políticas relacionadas con los recursos que se extiende hasta el 2050 como parte de su estrategia Europa 2020”.* (Vásquez, A. C. 2016).

La Comisión Europea establece un plan de acción para apoyar el Crecimiento de la Economía Circular en el año 2015 denominado “Cerrar el círculo, un plan de acción de la Unión Europea para Economía Circular”. Este plan de acción se fundamenta en el valor añadido que proporciona la Economía Circular a través de la innovación de los procesos productivos. Se consideró su implementación por la gran preocupación en el uso ineficiente de los recursos naturales creando una comisión del centro Europeo de excelencia sobre la utilización eficiente de recursos.

La Unión Europea autoriza para sus estados miembros el incentivo económico a las empresas que incorporen la producción cíclica en sus industrias. Esto se debe a que las implementaciones de este valor añadido de Economía Circular genera un aumento en los precios del producto debido a su implementación. (Cerde, E. y Khalilova, A. 2016).

Otros planes de acción generados por la Unión Europea es la mitigación de residuos domésticos e industriales, adaptación de medidas de contratación pública ecológicas y el uso de una huella medio ambiental de productos para mostrar y medir información medio ambiental de la fabricación de productos. (Cerde, E. y Khalilova, A. 2016).

### 1.6.3 América.

El continente Americano es uno de los menos avanzados en el tema de implementación de Economía Circular. Como ejemplo una de sus potencias Estados Unidos no cuenta con ninguna medida política para la implementación de una Economía Circular. Se reconocen leyes propias para mejorar el medio ambiente como *“la Ley de conservación y recuperación de recursos y la ley de prevención de la contaminación, impartidas 1976 y 1990 respectivamente”*. También se reconoce una jerarquía de gestión de residuos en la cual su principal objetivo es la reducción y reutilización de residuos a nivel doméstico. (Ghisellini, P., Cialani, C., y Ulgiati, S. 2016).

En cambio en Latino América uno de los primeros países en fomentar la Economía Circular es Chile. Guiado por la Unión Europea ha podido generar las primeras acciones de implementación de un modelo de Economía Circular.

La acción más destacada que se ha llevado a Chile es la instauración de una ley de reciclaje y responsabilidad de parte del productor por la generación de residuos. Esta ley se denomina *“Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (LEY N°20.920)”*, promulgada el 1 de junio de 2016. y cuyo Artículo número 1 declara que *“tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente”*.

En esta ley se reconoce que el vertido en vertedero de residuos producidos por una producción lineal no es una forma viable de mantenimiento del medio ambiente. Es por esta razón que se quiere redefinir la forma de gestión de residuos de Chile. Los objetivos planteados por esta ley son alcanzar una tasa de reciclaje del 30% antes del 2025. (Aguilera. M, 2016),

La ley especifica los siguientes productos prioritarios: Aceites lubricantes, Aparatos eléctricos y electrónicos, incluidas las lámparas o ampollas, Diarios, periódicos y revistas, Envases y embalajes, Medicamentos, Neumáticos, Pilas y baterías, Plaguicidas caducados y vehículos. Se establecen metas para la recolección y valorización de estos residuos, creando así nuevos negocios, y disminuyendo su disposición final. Además, la

Ley obliga a los productores a considerar los costos para el manejo de su producto al momento de convertirse en residuo, generando así un incentivo de prevención.

### 1.7 Economía Circular en la Construcción.

El sector de la construcción es uno de los principales rubros que aporta en gran medida la generación de residuos o desechos a nivel mundial. Esto sucede por la extracción de materias primas que se utilizan como material de construcción, demoliciones de estructuras y la misma construcción de estructuras que generan residuos y desechos. (Khan, 2016).

La eliminación y disminución de residuos se ha transformado en un problema medio ambiental en los principales países industrializados. Esto ha provocado un gran interés por posibles soluciones por parte de la sociedad y los gobiernos. (Sarabia-Guarin et al, 2017).

La implementación de la Economía Circular en el sector de la construcción no se ha llevado a cabo. Se han realizado diversos estudios de subsector de la construcción para considerar si su producción puede ser considerada como un sistema de producción cíclico con los fundamentos de la Economía Circular. Los resultados arrojados por estos análisis demuestran que en construcción se realizan procesos de reutilización y reciclaje pero a menor escala, lo que se necesitan son políticas de gestión de residuos, intervención de nuevas técnicas de ingeniería y el apoyo del sector gubernamental y social.

El sector de la construcción debe comenzar a realizar cambios en sus procesos productivos para adaptarse a las acciones tomadas por diversas naciones para la implementación de la Economía Circular en procesos productivos. Algunas de las barreras esperadas para este sector son la reutilización y tratamientos de residuos generados por su propia producción, en cual la normalización tomara un rol fundamental en la vida útil de los productos de la construcción. (Sarabia-Guarin et al, 2017).

Una de las primeras medidas adoptas por la Unión Europea que afecto a la construcción, es el aumento de los costos de rellenos para el sector y costes de demolición. Lo cual ha impulsado la tasa de reutilización y reciclaje de Hormigón, Maderas, Asfaltos y otros materiales de construcción, así como la mejora de los procesos de construcción para reducir los desperdicios.

## 2. CAPTULO MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE.

### 2.1 Recursos de una planta de asfalto.

La mezcla asfáltica resultado de la producción de una planta de asfalto posee dos materias primas básicas el cemento asfáltico y agregados pétreos. Estas dos materias primas se mezclan a elevadas temperaturas en la planta asfáltica para lograr su unificación para obtener el producto final que es la mezcla asfáltica que se utiliza en la pavimentación de caminos y superficies de terreno.

Los áridos o agregados pétreos constituyen el 90% al 95% del peso de la mezcla asfáltica total y proporcionan la resistencia del producto. La extracción de esta materia prima en Chile es a través de fuentes hidrográficas en la mayoría de los casos, específicamente en ríos. La mezcla posee dos tipos de áridos los agregados gruesos y agregados finos, los agregados gruesos corresponde a áridos mayores a 2,5 mm obtenidos de rocas trituradas o gravas, los agregados finos corresponden a los que poseen un menor tamaño de 2,5 mm se obtienen de arenas naturales o provenientes fracciones finas obtenidas por la trituración de áridos mayores. (ichasfalto, 2000)

El cemento asfáltico constituye del 10% al 5% de la mezcla asfáltica proporciona la consistencia y permite la unificación de los áridos. Esta materia prima es un subproducto del petróleo crudo se obtiene a través de la destilación del petróleo, es considerado como el residuo de la producción del petróleo. (ichasfalto, 2000)

### 2.2 Descripción de los procedimientos de una planta de asfalto.

La producción de mezcla asfáltica es del tipo lineal. En donde ingresan los recursos de materias primas de áridos con diferentes graduaciones y las cantidades de cemento asfáltico que se deban verter según el diseño de la mezcla asfáltica a realizar. Estas dos materias primas se mezclan a elevadas temperaturas hasta que las partículas del agregado pétreos son cubiertas por el cemento asfáltico de esta forma se obtiene el producto final que es la mezcla asfáltica la cual es transportada a elevadas temperaturas hacia el lugar de construcción, en donde se distribuye en el área en donde se desea pavimentar a través de una maquina especializada denominada terminadora asfáltica, la capa de pavimento que se obtiene debe ser compactada por rodillos hasta lograr las densidades requeridas antes de que la mezcla asfáltica se enfríe.

En las plantas asfálticas para lograr la mezcla asfáltica se deben realizar cuatro procedimientos generales. Los cuales se realizan de forma lineal y sincronizada para obtener el producto final deseado. A continuación se identificaran los cuatro procedimientos:

- A. Incorporación de áridos y dosificación: es el primer procedimiento en donde se debe ingresar los áridos en proporciones definidas a la planta asfáltica, previamente clasificados y almacenados. se ingresan a unas tolvas que posee las

plantas asfálticas normalmente 4 unidades de tolvas, en cuyas bocas se descarga con altura definida y con un sistema de pesaje interior proporcionan la dosificación individual, cada tolva entrega la cantidad de áridos necesaria para lograr la mezcla de agregados pétreos definido.

- B. Sistema de secado y mezclado: posterior al ingreso de áridos, son trasladados a un tambor mezclador rotatorio constituido interiormente por unos perfiles metálicos que proporcionan el mezcla de los áridos a través de la rotación y de un quemador con una llama intensa que proporciona el secado de los áridos.
- C. Dosificación e inyección de cemento asfáltico: posterior al mezclado, secado y dosificación de los áridos se debe inyectar la cantidad del cemento asfáltico determinada según el peso de los áridos la cual se mezcla en el tambor a altas temperaturas hasta obtener la mezcla asfáltica.
- D. Elevación y Carguío: terminado el mezclado de las materias primas, la mezcla asfáltica en caliente es depositada desde el tambor mezclador hacia un elevador inclinado el cual almacena la mezcla asfáltica en tolvas para ser cargadas en camiones tolvas para realizar el transporte hasta el lugar de instalación de la mezcla asfáltica.

Existen varios tipos de plantas de asfalto con el mismo propósito producir mezcla asfáltica. Cada una se adapta al material a fabricar y a las especificaciones de la producción. Pero lo más común es encontrar dos grupos diferentes: plantas discontinuas y plantas continuas. La diferencia entre las dos plantas es que las plantas discontinuas secan y calientan los agregados pétreos en un tambor distinto al de la inyección asfáltica y la planta continua seca y mezcla en una misma sección. (Martínez et al, 2013)

### 2.3 Residuos de la producción de mezcla asfáltica.

El producto final del proceso de producción de una planta asfáltica es la mezcla asfáltica. La cual es extendida y compactada para conformar un pavimento, la vida útil de esta mezcla asfáltica como pavimento varia de 15 a 20 años (Wang, D. C et al, 2012).

El envejecimiento y deterioro de los pavimentos de mezcla asfáltica se debe remover y sustituir por una mezcla asfáltica nueva. La técnica constructiva utilizada para el retiro de las capas deterioradas de mezcla asfáltica se denomina fresado. este proceso de construcción genera un producto denominado como RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) este material considerado como residuo de la vida útil de la mezcla asfáltica posee un valor técnico y económico muy alto, por lo que su reutilización o reciclado es muy conveniente. (Santiago, J. L. G et al, 2014).

La calidad del valor técnico del residuo de la mezcla asfáltica está condicionada por la cantidad de cemento asfáltico que conserva. Son varios los factores que afectan a esta condición entre los que se mencionan la cantidad de tránsito del pavimento, la fatiga, ahuellamiento, pero el factor que toma mayor relevancia es el calor ambiental al que la mezcla asfáltica está sometida. (Severance, R., et al, 2014).

## 2.4 Plantas de asfalto una producción lineal.

La producción de mezcla asfáltica está basada en la adquisición de recursos, elaboración, consumo y eliminación. Lo que ha provocado un efecto de agotamiento de las materias primas asociadas a la producción (Cemento asfáltico, agregados pétreos), por esta razón se hace preciso fomentar la reutilización de los residuos que el sector genera. (Potti, 2014). Los métodos tradicionales de mantenimiento de pavimento de carretera producen grandes cantidades de materiales de residuos de mezcla asfáltica que perjudican el entorno ambiental. (Wang, D. C et al, 2012)

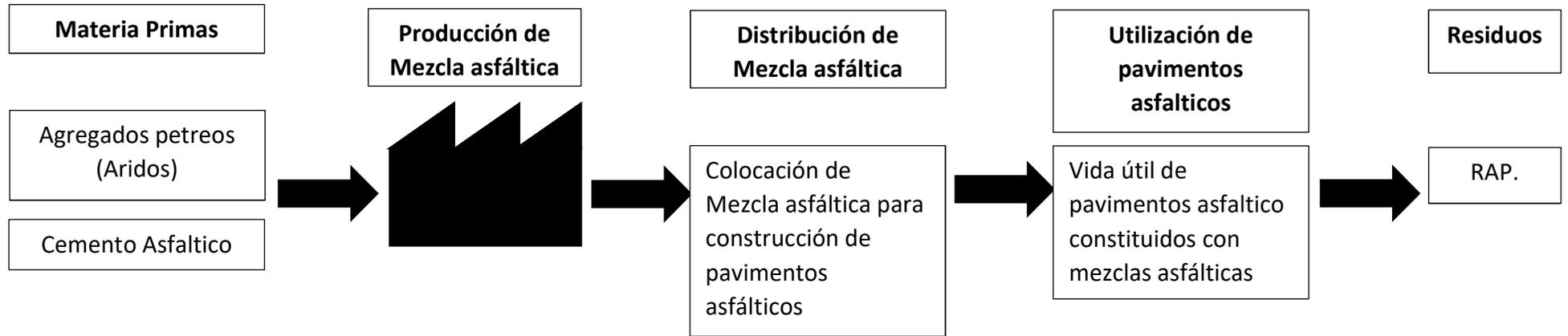
La gestión de residuos sólidos es un serio desafío a nivel mundial. En el ámbito de la construcción toma mayor relevancia por factores exteriores como el crecimiento industrial, auge de construcción, la rápida urbanización, cambios de estilos de vida y los patrones de consumo insostenibles. (Kabir, S, 2016).

Muchas empresas de producción de mezcla asfáltica están tratando de mejorar sus plantas asfálticas y producción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la generación de residuos cuando se eliminan los pavimentos. (Sanchez-Alonso, E et al, 2011).

Los residuos de pavimento de mezcla asfáltica (RAP) se reutilizan en mezclas asfálticas en caliente. Esto se ha realizado desde la década de 1930, utilizar los residuos de pavimento antiguos y combinarlos con mezclas asfáltica nueva, para reducir el contenido de cemento asfáltico nuevo. (Huang, B., 2005).

Ilustración 2 Diagrama de Producción Lineal de Mezcla Asfáltica.

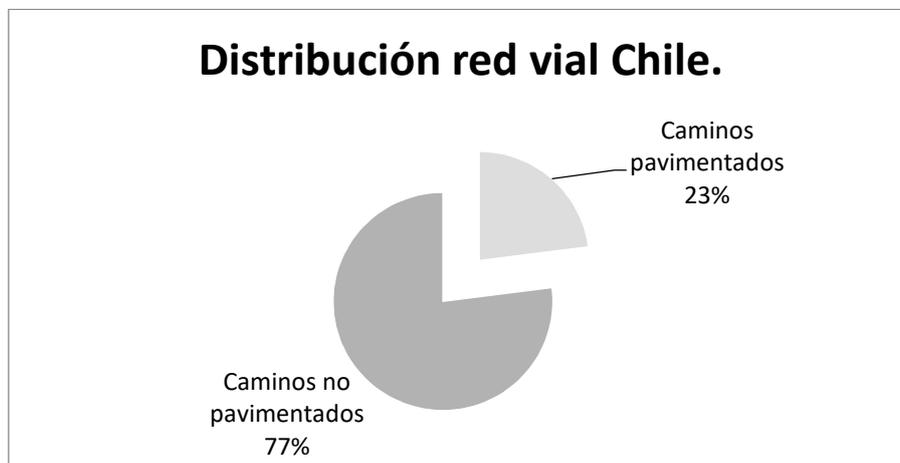
Fuente. Elaboración Propia



## 2.5 Industria del Asfalto en Chile.

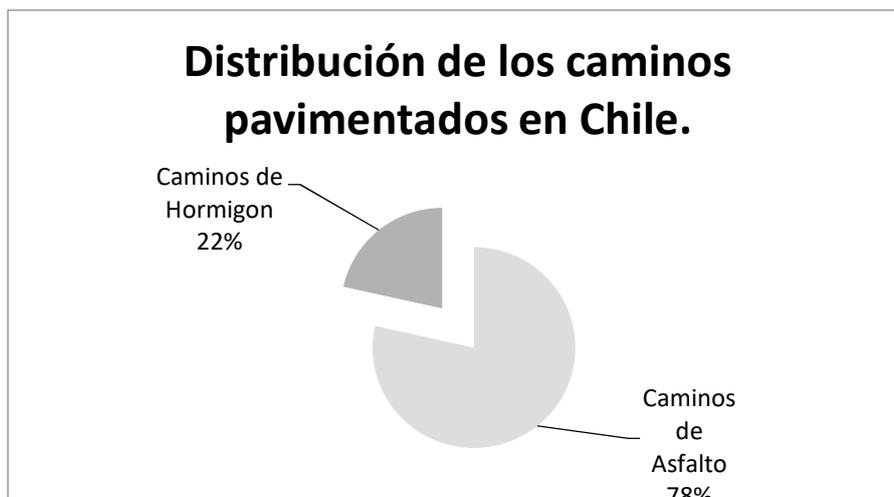
La mezcla asfáltica es el material de mayor utilización en obras de pavimentación en Chile. Existen alrededor de 17.500 kilómetros de caminos pavimentados con asfalto y 3.500 kilómetros de caminos pavimentados con hormigón. El promedio anual objetivo de pavimentación de caminos chilenos es de 450 kilómetros por año que se estableció en el año 1999. (Cabrera, 2014).

La red vial nacional según el Ministerio de Obras Públicas Chileno posee una extensión total de 77.764 Kilómetros de los cuales solo un 23% se encuentra pavimentado, de estos el 64% está en buen estado. En países desarrollados esta cifra supera el 80%. De superarse el déficit de los proyectos del Ministerio de Obras Públicas, aun existirán más de 50.000 Kilómetros de caminos de tierra, ripio y soluciones básicas, a las cuales se debe dar una solución superando la categoría de cada camino. (Cabrera, 2014)



**Gráfico 1** Distribución de la red vial de Chile.

**Fuente:** Elaboración Propia con datos del Ministerio de Obras Públicas de Chile.



**Gráfico 2** Distribución de los caminos pavimentados de Chile.

**Fuente:** Elaboración Propia con datos del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

Según el instituto nacional de estadística chileno (INE) la producción de mezcla asfáltica en Chile ha aumentado en los últimos años. Con un crecimiento del 18,3% desde el año 2015 al año 2016 debido a una mejora en la producción de la industria de las plantas asfálticas. (Instituto nacional de estadística chileno, 2016). Esta mejora en la producción se puede asociar al índice del precio del asfalto en Chile el cual ha registrado una variación negativa desde noviembre del 2014, registrando una disminución de un 24% anual hasta 2016. (Cámara Chilena de la Construcción. 2016). Por esta causa la industria de la plantas asfáltica ha debido mejorar su producción por el bajo precio de la mezcla asfáltica y por una alta demanda que esto implica.

La colocación de mezcla asfáltica para pavimentación en Chile es una alternativa viable de construcción. Marca un gran desarrollo en la construcción dando un énfasis en las obras civiles a lo largo de todo el territorio del país. (Salamanca Arce, G. J 2007).

El cemento asfáltico más utilizado en la industria de las plantas de asfalto en Chile proviene de la destilación del petróleo. Su clasificación está definida por su grado de viscosidad absoluta la cual son: CA 24 cuya viscosidad es mayor o igual a 2400 poises y el CA 14 en el cual su viscosidad absoluta es mayor a 1400 poises. (Campos Canessa, J. A., 2008)

El clima es un factor relevante que actúa en el desempeño de los pavimentos de mezcla asfáltica. Las características de los materiales asfálticos de la mezcla asfáltica cambian con la temperatura, la rigidez de la mezcla asfáltica varía con la humedad. (Osorio et al. 2015) Debido a la dispersión territorial de Chile presenta una amplia variabilidad de climas y geomorfología lo que condiciona de distinta forma el comportamiento de los pavimentos construidos con mezcla asfáltica. (Araya, F. et al, 2012). Por estas características la vida útil de los pavimentos asfálticos en Chile es variable a lo largo del territorio lo que condiciona que el residuo de la producción de mezcla asfáltica es diverso a lo largo de todo el país.

En Chile se han realizado diversas investigaciones para aumentar la vida útil de los pavimentos asfálticos. Con un gran énfasis en la influencia del clima en los pavimentos de asfalto y de forma indirecta prolongar la creación de residuos en la producción de mezcla asfáltica. En Chile se distinguen cuatro tipos de climas, zona norte, zona sur, zona centro y zona patagónica – cordillerana, en los cuales se utiliza de forma estándar el mismo tipo de mezcla asfáltica (Delgadillo et al, 2017).

## 2.6 Extracción y adquisición de materias primas para mezclas asfálticas en Chile.

Las materias primas para realizar la producción de mezcla asfáltica en Chile son obtenidas a través de importaciones en el caso del cemento asfáltico y de extracción de áridos para los agregado pétreos. Los áridos es la única materia prima que se extrae de los recursos naturales chilenos. Su extracción se realiza a través de Cauces naturales (ríos), canteras y pozos de extracción. La administración de los permisos de extracción de áridos está a cargo de cada municipio de la localidad afectada por la extracción en su localidad. (Gatica, 2010)

La extracción de áridos en Chile se caracteriza por tener una demanda variable. Esto se debe porque en el sector no existe una política pública bien definida en cuanto a transparencia, existen problemas de definición de entidades fiscalizadoras problemas medio ambientales a causa de la extracción en cauces naturales. La normativa ambiental y la regulación de procedimientos administrativos para llevar a cabo la explotación de áridos en Chile no es muy permisiva por los graves problema ambientales que la extracción con lleva. Por lo que ha bajado el otorgamiento de permisos para la extracción de áridos lo que provoca un problema directo en la producción de mezcla asfáltica chilena. (Uribe, 2011)

El 95% del cemento asfáltico en Chile es ocupado para la producción de mezclas asfálticas para la construcción de caminos. Esta materia prima de la producción de mezcla asfáltica en Chile se obtiene de la refinería nacional del petróleo (ENAP). La cual no da abasto para cantidad demanda del país, se hace necesario la importación del cemento asfáltico en Chile. (Cabrera, 2013)

La accesibilidad de las materias primas para la producción de mezcla asfáltica en Chile no es del todo expedita. El rubro requiere de crear ciclos en su producción para disminuir la ocupación de materia prima y comenzar a reutilizar sus residuos para incorporarlos como recursos de producción.

## 2.7 Normas chilenas ambientales aplicadas a la producción de mezcla asfáltica.

Según la normativa chilena el residuo de las mezclas asfálticas es clasificado como un residuo inerte. La característica de esta clasificación se debe a que el material en este caso la mezcla asfáltica no cambia sus propiedades químicas, según el Decreto Supremo 148 Numero 3 de manejos de residuos peligrosos. El residuo de mezcla asfáltica no es reconocido como un residuo peligroso.

En Chile no existe una normativa, decreto o ley ambiental explícita para la producción de mezcla asfáltica. Pero si existen normativas, decretos y leyes de forma general para todos los procesos industriales, los cuales se adaptan a la producción de mezcla asfáltica.

El decreto supremo 745 aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Los cuales se pueden adaptar en la implementación de una planta de producción de mezcla asfáltica sus artículos relevantes en tema ambientales son los siguientes:

Artículos 15 al 19: *“No podrán vaciarse en la red pública de desagües de aguas servidas, sustancias inflamables o explosivas, aguas corrosivas, incrustantes o abrasivas y en general ninguna sustancia o residuo industrial susceptible de ocasionar perjuicio, obstrucciones, o alteraciones que dañen canalizaciones internas y que den origen a un riesgo o daño para la salud de los trabajadores o un deterioro del medio ambiente”*. La descarga de residuos líquidos que se desprendan de la planta deberá ser tratados mediante decantación y filtrados, antes de incorporarlos al sistema de alcantarillado público.

Artículos 54 al 63: El promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos durante la jornada normal de 8 horas. Diarias con un total de 48 horas. Semanales, no deberá exceder los límites permisibles ponderados en el caso de las plantas de asfalto el límite permisible ponderado será de 4mg/m<sup>3</sup> de contaminantes químicos. (Decreto supremo 745 Chile, 1992).

En Chile existen dos leyes que se deben acatar para la gestión de residuos de la producción de mezcla asfáltica. No están constituidas directamente a la producción de mezcla asfáltica si no que su objetivo se centra en la gestión de residuos.

La ley 20.879 del año 2015 del gobierno de Chile establece las sanciones de transporte de residuos hacia vertederos clandestinos.

En artículo 192 se establece lo siguiente: *“El que encargue o realice, mediante vehículos motorizados, no motorizados o a tracción animal, el transporte, traslado o depósito de basuras, desechos o residuos de cualquier tipo, hacia o en la vía pública, sitios eriazos, en vertederos o depósitos clandestinos o ilegales, o en los bienes nacionales de uso público, será sancionado con multas que varían de los 3.200 euros hasta los 9.600 euros”*.

La ley 20.879 dicta que debe existir una gestión en el transporte a botaderos certificados. No se puede en Chile depositar los residuos en ningún sitio no certificado por lo que debe existir por parte de la industria una gestión de eliminación de los residuos en lugares certificados por entidades de gobierno.

Otra ley que influye en la producción de residuos de las plantas de asfalto en Chile es la ley Nº20.920 *“Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor”*. La cual se mencionó en el apartado anterior 1.4.5 que tenía por objetivo disminuir la generación de desechos y residuos de las industrias chilenas fomentando la reutilización de sus

desechos y residuos, por la responsabilidad extendida del productor de los desechos y residuos de su propia producción.

La ley N°20.920 “*Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor*” se fundamenta en el concepto de producción cíclica de la Economía Circular. Es uno de las primeras acciones tomadas por el gobierno de Chile para la implementación de la Economía Circular. Con la Promulgación de esta ley en el año 2016 se puso como objetivo lograr una tasa de reciclaje del 30% en la producción de las empresas antes del 2025 en Chile.

Como prioridad se especificaron varios productos para la implementación de esta norma uno de ellos es la gestión de Neumáticos utilizados de cauchos. Este residuo que se incorporó como prioridad en el inicio de la ley N°20.920 posee gran relevancia en la producción de mezcla asfáltica ya que existen diversas investigación que avalan su incorporación como materia prima para el mejoramiento de las propiedades físico químicas de los pavimentos elaborados con mezcla asfáltica mejorando el desempeño y alargando el tiempo de vida útil de los pavimentos. (Palma, C. V. 2016).

Bajo el amparo de la ley N°20.920 la producción de mezcla asfáltica podría distinguirse como un gestor de residuos prioritarios de Chile. Creando de este modo una valorización del residuo de neumático para crear nuevos productos y así de esta forma cumplir con el objetivo primordial de la ley que es la disminución de la disposición final de estos recursos primordiales creando nuevas opciones de negocio para el país.

Chile no posee una ley o norma ambiental de residuos que regule la producción de la mezcla asfáltica de forma directa. Si no que se deben acatar a diversas normas y leyes ambientales de producción industrial general. El objetivo del país es fomentar la reutilización y reincorporación de residuos ya sea en el mismo ciclo de producción o generando nuevos productos con nuevos ciclos productivos. En este objetivo Chile se incorpora al movimiento de acciones a nivel mundial para la incorporación de la Economía Circular, dando como primer paso la promulgación de la ley N°20.920 “*Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor*” que fomenta la reutilización de los residuos y establece las responsabilidades del productor para hacerse cargo de la gestión de los residuos provocados por su producción.

Las leyes y normas chilenas analizadas establecen una planificación y gestión previa a la generación de residuos y desechos de cualquier producción. Establecen responsabilidades del propio productor es por esta razón es que en Chile es necesario gestionar los residuos con anticipación y considerar los costos para el manejo de su producto al momento de convertirse en residuo.

## 2.8 Normas internacionales ambientales aplicadas a la producción de mezcla asfáltica

Un modelo de Economía Circular prolongado en el tiempo y eficiente es el objetivo de varios países del mundo especialmente de la Unión Europea. Encontrar un modelo

ambiental de producción basado en un crecimiento económico ambientalmente eficaz y sostenible que pueda generar un valor añadido a los residuos de diferentes producciones no tan solo crearía una protección para el medio ambiente sino que también se generaría nuevas oportunidades de trabajo, la innovación país crecería y para el país que lleve a cabo este modelo de economía sería una ventaja competitiva en el mercado mundial. (Chacin, J., & Abreu, Y. 2015)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha generado una serie normas de gestión medio ambiental a consecuencia de las preocupaciones internacionales por el medio ambiente, se denominan ISO 14000. Tienen por objetivo enfocar a diferentes organizaciones y lograr apoyar la protección medio ambiental y prevenir la contaminación. De forma íntegra con otros sistemas de gestión socioeconómicos.

La serie de normas ambientales ISO 14000 incluyen las siguientes normas:

Norma	Título
14001	Sistemas de gestión medioambiental: Especificaciones y guía de usos
14002	Sistemas de gestión medioambiental: Pautas sobre aspectos especiales relacionados con pequeñas y medianas empresas
14004	Sistemas de gestión medioambiental: Pautas generales sobre los principios, sistemas y técnicas de apoyo
14010	Pautas para auditorías medioambientales: Principios generales de auditorías medioambientales
14011	Pautas para auditorías medioambientales: Procedimientos de auditoría , 1ª Parte: Auditoría de sistemas de gestión medioambientales
14012	Pautas para auditorías medioambientales: Criterios de cualificación para auditores medio ambientales
14013/15	Pautas para auditorías medioambientales: Programas de auditoría, revisiones y evaluaciones

**Tabla 1** Sistema de gestión Ambiental.

**Fuente:** ISO 14001 EMS: manual de sistemas de gestión medioambiental Roberts, H., & Robinson, G.

Estas series de normas actúan de forma cíclica generando la mejora continua del sistema de diversas organizaciones. Se basan en un enfoque de planificación, ejecución, comprobación y corregir que son las acciones para conformar la gestión medio ambiental. (Roberts, H., & Robinson, G. 1999)

La acción de planificación que plantea las normas ISO tiene por objetivo una revisión de problemas medio ambientales que se originan o afectan de forma directa a la organización, luego se definen las acciones y logros a alcanzar para mejorar el desempeño de la organización. La acción de ejecución consiste en implementar los planes de acción realizados en la planificación, basados en las diversas problemáticas, posterior a esto se realiza la comprobación y monitoreo de las acciones o planes ejecutados midiendo los procesos y comparándolos con los objetivo de cada organización generando un informe de los resultados obtenidos. Y por último tenemos

la acción de corregir si es que no se cumplen los objetivos ambientales en conjunto con los objetivos de la organización. (Chacin, J., & Abreu, Y. 2015)

## 2.9 Estado del arte de gestión de residuos de la producción de mezcla asfáltica.

La construcción de pavimentos asfálticos ha alcanzado enormes crecimientos en las últimas décadas. Lo que provoca una escasez y aumento del precio de las materias primas (agregados pétreos y cemento asfáltico). El uso de los pavimentos asfálticos reciclado (RAP) no solo provoca una disminución de materias primas sino que con lleva un ahorro general en el costo, esta menor demanda de materia prima conduce a un menor impacto al medio ambiente en conjunto con ahorro de energía. (Farooq, M. A., y Mir, M. S; 2017). Otros autores Gandhi, A., Carter, A., y Singh, D, afirman que las necesidades de utilización de RAP en la industria de la producción de mezcla asfáltica surgen por el gran crecimiento de las carreteras con un gran costo inicial de construcción y costos de mantenimiento preventivo, preservación y rehabilitación de carreteras, se necesita innovación para realizar más construcciones a un menor costo, por esta razón surge la incorporación del RAP para mantener más kilómetros de carreteras. (Gandhi, A., Carter, A., & Singh, D; 2017).

Por otra parte Mahedi, M., Hossain, M. S., & Khan, M. S. afirman que el uso de RAP en la construcción de pavimento asfálticos se ha convertido en una solución viable y rentable al reducir la tasa de agotamiento de los agregados naturales y escombros de construcción bajando los niveles de impacto ambiental y optimizando recursos. (Mahedi, M., Hossain, M. S., y Khan, M. S. 2017).

Diversos investigadores concluyen que la necesidad de utilización de desechos de la producción de mezcla asfáltica se debe principalmente al aumento de la demanda de construcción de caminos. Lo que provoca una disminución de las materias primas de la producción de la mezcla asfáltica y aumento de energías para la producción. Bajo estas necesidades establecidas por la demanda caminera a nivel mundial surge la solución innovadora de reutilización del desecho (RAP) de la producción de mezcla asfáltica. Cambiando de una producción lineal a una producción cíclica. Las acciones realizadas están en concordancia con los fundamentos o principios de la Economía Circular a través de diferentes acciones definidas por Cerda, Emilio. Khalilova, Aygun. (Año: 2016) en el capítulo 1.

### Principios y Acciones para la implementación de la Economía Circular.

Principios	Acciones	Barreras
Incrementar y conservar los recursos	Reducción y minimización de materias primas.	Clasificación de la cadena de suministro.
	Disminución de los desechos y residuos.	
Optimización de los recursos naturales	Equilibrio eficiente de energía, recursos renovables y reciclables, procesos constructivos.	Dispersión geográfica de recursos naturales o materias primas.
	Reducción de emisiones contaminantes.	Fuga provocadas por el incremento de materiales.
Promover la producción cíclica	Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico.	Seguir en procesos de sistemas lineales.

**Tabla 2** Principios y Acciones para la implementación de la Economía Circular.

**Fuente:** Cerda, Emilio. Khalilova, Aygun. (Año: 2016), Economía Circular, Revista Estrategia y Competitividad Empresarial.

En la tabla 1 se observan los principios de la Economía Circular que son tres fundamentalmente. Cada principio para llevarlo a cabo requiere una serie de acciones que la organización deben atender para implementar un sistema cíclico de la Economía Circular. Es por esto que en esta investigación y revisión de bibliografía se realizara una analogía de las acciones planteadas con respecto a las técnicas de reciclaje de la producción de mezcla asfáltica y posteriormente comprobar que estas acciones son realizadas en plantas de asfalto en Chile para comprobar si existe un sistema de producción cíclico en este país.

#### 2.9.1 Tipos de Reciclaje y reutilización de desechos de la producción de mezcla asfáltica.

El sistema de Economía Circular reconoce la gestión de reciclaje y reutilización de los desechos de cada producción como sistema de producción cíclica. La diferencia de concepto de reciclaje con reutilización es un concepto semántico y sutil. El término de reutilización hace referencia que el residuo de una producción pueda ser ocupado nuevamente en la misma producción, en cambio el concepto de reciclaje, los residuos de una producción son ocupados en otras producciones distintas a la que fue concebido el residuo. (Potti, J. Jose; 2014).

Según Farooq, M. A., y Mir, M. S, los métodos de reutilización del desecho de producción de mezcla asfáltica se clasifican de forma general en dos procesos de reincorporación del residuo. En primer lugar se clasifica la reincorporación del desecho en la plantas de mezcla asfáltica. Y en segundo lugar se encuentra la reincorporación in situ la cual implica la incorporación del desecho (RAP) en la construcción misma. (Farooq, M. A., y Mir, M. S; 2017).

Por otro parte Sengoz, B et al, clasifica la reutilización de desechos de la mezclas asfáltica como procesos calientes o fríos. Los cuales dependen de la cantidad de calor que se aplica. En el caso de la reincorporación en frio esta se utiliza el desecho (RAP) como agregado pétreo y se incorpora un ligante asfáltico tipo emulsión para la cohesión de las partículas. En el caso de los procesos calientes, es la reincorporación del desecho (RAP) a elevadas temperaturas para lograr nuevamente la cohesión. (Sengoz, B., Topal, A., Oner, J., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., & Kok, B. V. 2017).

Según Mallick, R et al, el objetivo principal de la utilización de desecho de mezclas asfálticas (RAP) en la producción de mezclas asfálticas frías o calientes es la reducción de costes. Mallick, R., Kandhal, P., & Bradbury, R. (2008). La reutilización de pavimentos se ha convertido en una de las alternativas más atractivas para la mantención y restauración del pavimento asfáltico en los últimos años, por su bajo costo, por la conservación de la energía y efectos ambientales. La producción de asfalto es una amenaza para el medio ambiente.

La ventaja de reutilización de mezcla asfáltica por el método en caliente permite una reintegración inmediata del tránsito en las vías. Por otra parte el método en frio utiliza ligantes asfálticos del tipo emulsión en vez de cemento asfáltico para lograr la cohesión de la mezcla asfáltica. La emulsión asfáltica necesita un periodo de tiempo mayor para lograr la aireación y curado de las capa que se colocan.

La ventaja del método de reutilización en frio es que en comparación con el método caliente requiere una menor cantidad de maquinaria para llevar a cabo su construcción. (Farooq, M. A., & Mir, M. S; 2017).

La reutilización del desecho de la mezcla asfáltica (RAP) en plantas de asfaltos por el método caliente tiene un mayor control de producción. Esto se debe a que este método de reutilización se lleva a cabo igual que la producción de mezcla asfáltica sin reincorporación de desechos por lo que la integración de las materias primas es controlada. (Moon, K. H., Falchetto, A. C., Marasteanu, M., & Turos, M. 2014).

### 2.9.2 Reutilización del desecho de mezcla asfáltica (RAP) en mezclas calientes de asfalto.

Gran cantidad de estudios sugieren que la reincorporación de RAP como límite práctico en mezclas en calientes es del 50% del peso total de la mezcla asfáltica. El otro 50% del material ocasiona problemas ambientales. Los factores que restringen el aumento de la reincorporación de material RAP es la temperatura ambiente de los materiales, los índices de temperaturas de producción, contenido de humedad, temperaturas de descarga de la mezcla asfáltica y la acumulación de agregados y asfalto aglutinados en las plantas de producción de las mezclas asfalto provocan que el límite de máximo de reincorporación sea del 50% de RAP. (Kandhal, P. S., & Mallick, R. B. 1997).

Diferentes estudios realizados con desechos de mezclas asfálticas RAP, revelan que su reincorporación en mezclas asfálticas ayuda a aumentar la rigidez de las mezclas asfálticas. Otros estudios También mostraron que las mezclas asfálticas con RAP añadido poseen un índice de envejecimiento superior en comparación con la mezcla asfáltica original. (Chaffin, J. M., Liu, M., Davison, R. R., Glover, C. J., & Bullin, J. A. 2001)

A nivel mundial, se han realizado diversos estudios para estimular el uso del desecho de mezcla asfáltica (RAP) de hasta 60% del peso granulométrico de las mezclas asfálticas. Los resultados obtenidos de estas investigaciones demuestran que la reincorporación de altos contenidos de RAP provocan una gran variabilidad granulométrica y de contenido asfáltico en comparación a la mezclas asfáltica convencionales sin reincorporación de RAP. Pero a su vez los resultados de investigaciones demuestran que al poseer una gestión de tratamientos o técnicas de homogenización de las fracciones de los desechos de mezclas asfálticas permiten disminuir la variabilidad granulométrica y de contenido asfáltico de las mezcla con reincorporación de desechos RAP, y a su vez presentar propiedades mecánicas y volumétricas parecidas a las mezclas asfálticas convencionales sin la reincorporación de RAP. (Valdés, G. A., Martínez, A. H., y Pérez-Jiménez, F. E. 2008).

Diferentes investigaciones afirman que reincorporar RAP en la producción de mezclas asfáltica modifica de cierta manera las propiedades volumétricas y/o mecánicas de las mezclas asfálticas. Para que las modificaciones de propiedades no sean tan variables debe existir una gestión de tratamiento previo de los desechos almacenamiento. Farooq, M. A., y Mir, M. S afirma que al igual de una gestión de almacenaje deben existir diferentes técnicas de producción de mezclas asfálticas en las diferentes etapas de producción de las plantas asfálticas, según el porcentaje de RAP que se desea reincorporar. A medida que aumenta el porcentaje de RAP, la cantidad requerida de preparación de las etapas de producción de las plantas de asfalto varía de la siguiente manera:

Incorporación de RAP 0-10%: El porcentaje de RAP es tan bajo que tiene poco efecto sobre la granulometría de la mezcla asfáltica y contenido de cemento asfáltico. La consideración de producción que se debe tener para esta variable de porcentaje es considerar un contraflujo del mezclador de tambor en la producción con un recubrimiento del tambor para lograr una homogenización de los desechos RAP incorporados.

Incorporación de RAP 10-20%: Como el porcentaje del residuo en la mezcla asfáltica aumenta, es difícil mantener la granulometría y contenido de asfalto en la mezcla final. Los silos de acopio al terminar la producción de plantas de asfalto cumplen una labor fundamental al momento de realizar el carguío en los camiones de traslado deben realizarse de manera tal que no se produzca una disgregación de la mezcla asfáltica al momento de cargar y aumentar la variabilidad granulométrica de la mezcla asfáltica con RAP producidas.

Incorporación de RAP 20-30%: Para lograr la incorporación de este contenido de RAP, debe existir una gestión del desecho previo a la producción la cual se deben triturar los desechos y separación de los tamaños del RAP del mismo tamaño de los agregados pétreos que la mezcla asfáltica requiere. Posteriormente se deben tomar las mismas condiciones de producción de los porcentajes más pequeños.

Incorporación de RAP 30-40% y 40-50%: Para realizar la reincorporación de estos porcentajes de desechos de mezcla asfáltica es necesario realizarlo en plantas de asfalto del tipo continua con el secador y/o mezclador de doble barril son los más óptimos para lograr esta producción. Además de la consideración del tipo de planta de mezcla asfáltica es necesario disponer de un contador o secador previo a la producción que pueda controlar la incorporación de RAP a la producción. Y un almacenaje y gestión de distribución de los residuos para que no los afecten agentes externos del tipo climático, variaciones de humedad oxidación, entre otros. (Farooq, M. A., & Mir, M. S; 2017).

El desecho RAP es utilizado a nivel mundial en diferentes porciones para la producción de mezcla asfáltica caliente. Sin embargo como se observó en diferentes estudios existe un límite disponible de reincorporación de RAP para la producción de la mezcla asfáltica en caliente.

La utilización de RAP proporciona un método económico de producción de mezcla asfáltica en caliente. El desecho RAP contiene ambos agregados de materia prima de la mezcla asfáltica, de ahí que su uso ahorre recursos naturales, dinero pero el uso de la producción de mezcla en caliente genera liberación de gases nocivos hacia el medio ambiente durante la producción. (Domitrović, J., Rukavina, T., & Dimter, S. 2016).

Como se demostró en investigación la reincorporación del RAP en la producción de mezcla asfáltica en caliente provoca variabilidad volumétrica y/o mecánica. La reincorporación de desecho produce un dramático efecto sobre el cemento asfáltico y la viscosidad de la mezcla, debido a la frecuencia de cemento asfáltico rígido y oxidado, es de interés para las inversiones detectar y cuantificar este efecto en la calidad técnica

de materiales de pavimentación a través de la producción de mezclas asfálticas con producción en caliente.

Al reincorporar desecho RAP en la producción de mezcla asfáltica crea dudas referidas a la incorporación en la producción por factores que presentan los desechos RAP en cuanto al nivel de oxidación y rigidez del desecho lo que ocasiona problemas mecánicos a la mezcla asfáltica producida en plantas calientes. para reducir estos riesgo es gestionar el almacenaje y la calibración del material de desecho RAP. (Ekblad, J., y Lundström, R. 2017).

La reincorporación de desecho de mezcla asfáltica RAP en producción en caliente es un método que proporciona una disminución en el coste pero no asegura una buena gestión de Economía Circular. Esto se debe a que la producción en caliente de las mezclas asfáltica se debe llevar a cabo con altas cantidades de energía para calentar lo que provoca grandes emisiones de gases nocivos para el medio ambiente.

La reincorporación del desecho RAP representa un límite del 50 % de incorporación en la mezcla asfáltica. Para llevar a cabo la reincorporación de RAP en la producción es necesaria una gestión aparte de almacenaje y preparación previa a la producción de mezcla asfáltica en plantas de producción en caliente.

### 2.9.3 Reutilización del desecho de mezcla asfáltica (RAP) en mezclas frías de asfalto.

A nivel mundial se busca reducir la huella ambiental que deja la producción de mezcla asfáltica en el campo de la construcción de carreteras. Por esta razón se buscan diferentes técnicas que maximicen la tasa de reciclaje y principalmente reducir la temperatura de producción. (Abdelhak, B., Abdelmadjid, H. C., Hamza, G., y Mohamed, G. 2016). Existen varios métodos para reciclar pavimentos asfáltico a nivel mundial, la experiencia y la elección de la tecnología para el reciclaje da lugar a un amplia gama, pero la que toma mayor relevancia son las técnicas que disminuyen a cero la temperatura en la producción por eso, mezclas con reutilización de RAP en frio son una buena alternativa ambiental. (Gandi, A., Carter, A., & Singh, D. 2017).

El reciclaje en frio es una tecnología en la cual se reciclan las capas de pavimentos asfáltico sin calentar y se mezclan con aditivos tipo emulsión para lograr la cohesión de las partículas de la mezcla. (Androjić, I., y Kaluđer, G. 2013)

El reciclaje de desechos de mezcla asfáltica en frio es un proceso constructivo reconocido a nivel mundial. Diversas instituciones reconocen estas técnicas de rehabilitación de pavimento por sus características ecológicas económicas y técnicas. Además es una técnica que posee una rapidez en ejecución debido a los avances en diversas maquinarias para su construcción. Y por su nula producción con temperatura y reutilización de desecho como agregado pétreo contribuye significativamente al manejo

ambiental. Bajo estas características de construcción se obtiene un producto final con similares características que el original reduciendo los costos finales de mantenimiento. (Restrepo Sierra, H. A., y Stephens Zapata, S. A. 2016)

Actualmente no existe un método constructivo estandarizado de mezcla asfáltica reciclada en frío mundialmente aceptado. Cuando se utilizan emulsiones asfálticas como aditivo reciclador. Estudios de este tipo de mezclas asfálticas se están llevando a cabo a nivel mundial ya que su utilización normalizada representaría un beneficio a nivel económico y medio ambiental para rehabilitación de carreteras a nivel mundial. (Sintes Moya, M. 2004).

El proceso constructivo de reciclaje de desecho asfáltico en frío con lleva una serie de decisiones que se deben considerar para iniciar los trabajos. Estas consideraciones abarcan factores ambientales, técnicos y económicos, por lo que se debe tener una gestión previa de realización de los trabajos. Estas consideraciones se nombran a continuación:

1. Disgregación de los materiales del pavimento existente mediante el fresado del espesor impuesto en el diseño del tratamiento: se debe tener presente el espesor del fresado al momento de obtener el RAP, puesto que el material puede estar contaminado con la base granular y la producción de diferentes tamaños que deben ser homogéneos.
2. Observación y retiro de sobre tamaño del desecho de la mezcla asfáltica: el proceso de disgregación no alcanza y la función de este no es para el retiro de sobre tamaño, debe existir un filtro y retiro de residuo sobre 2 pulgadas y dejarlo uniformemente.
3. Adición y mezclado de agentes estabilizador: se debe considerar la selección del agente estabilizador más conveniente. Se procede a mezclar de forma homogénea con el residuo ya seleccionado en algunos casos es necesario agregar agua en algunos casos.
4. Extendido nivelado y compactación: una vez producida la homogenización de la mezcla de residuo y aditivo se prosigue a extender y nivelar la mezcla de forma homogénea, observando la uniformidad del extendido.
5. Curado: algunos de los agentes estabilizadores requieren de un curado especial, generalmente se estima que el tiempo de curado está dado por el contenido de humedad en el material reciclado.
6. Colocación de la capa superficial nueva o cubrimiento reciclado: por último se realiza la extensión de una capa de rodadura que puede ser a base de mezcla asfáltica en caliente o un tratamiento superficial, según este contemplado en el diseño. (del Val, M. Á., y Boccaleri, S. R. 1998)

El principal problema del reciclado de mezcla asfáltica en frío es el proceso de compactación de la mezcla. La maquinaria fresadora rompe la mezcla asfáltica envejecida del pavimento antiguo. Al momento de mezclar el RAP con el aditivo no se realiza con ningún tipo de calor y las partículas que forman RAP no se adhieren en un cien por ciento con el aditivo o emulsión. El resultado es una mezcla asfáltica de aspecto básico por las múltiples caras fracturadas y la heterogeneidad que representan las partículas del RAP, que tiene como principal consecuencia densidades muy bajas y resistencias también muy bajas debido a la mala compactación. (Sintes Moya, M. 2004).

El máximo porcentaje de cantidades de desechos RAP en el reciclado de mezcla asfáltica en frío es del 25 % por sobre el peso. Al incorporar más porcentaje de desecho RAP aumenta la probabilidad de segregación si se utiliza una graduación gruesa, y resultar en una reducción en la resistencia de la mezcla. Un contenido inferior al 25 % puede no ser apropiado por el aumento del contenido de emulsión por el curado de la mezcla asfáltica lo que provoca un aumento en los costos asociados. (Thenoux, G., y Garcia, G. 2011)

Las mezclas recicladas en frío recién construida normalmente tienen poca resistencia a la cohesiva aparente. Con un curado adecuado se pueden comportar en forma similar a una mezcla asfáltica en caliente, lo cual podría llegar a tomar 7 y 12 meses antes de alcanzar su resistencia máxima. Esto debe tener presente al momento de evaluar la capacidad estructural de la carpeta mezcla asfáltica reciclada en frío. (Thenoux, G., y Garcia, G. 2011).

#### 2.9.4 Reciclaje del desecho de mezcla asfáltica (RAP)

El reciclaje del desecho de la mezcla asfáltica es la incorporación de este desecho en otro proceso de producción distinto de la mezcla asfáltica. Generalmente el residuo de mezcla asfáltica es reutilizado en la construcción de carreteras bajo los métodos de producción en caliente o en frío, pero existen diversas investigaciones que propone al desecho de la mezcla asfáltica como alternativa en diversas producciones. La necesidad de reciclaje del desecho de la mezcla asfáltica surge por el excesivo almacenamiento que este desecho con lleva. Este almacenamiento progresivo surge del poco porcentaje de reutilización que se utiliza en la producción de mezcla asfáltica por lo tanto los costos de almacenamiento aumentan. (Coppola, L., Kara, P., y Lorenzi, S. 2016).

La reutilización del desecho de la mezcla asfáltica no alcanza a ocupar la cantidad de desecho emitido en la producción de mezcla asfáltica. Solo un 30% del desecho de mezcla asfáltica es reutilizado en el proceso de producción en caliente y un 10 % en la producción de fría. En general la utilización del desecho de mezcla asfáltica RAP alcanza un 20 % de la generación total de este residuo. (Androjić, I., Kaluđer, G., y Komljen, M. 2012)

Las materias primas derivadas de fuentes naturales se han utilizado tradicionalmente en productos de la construcción. Sin embargo, en los últimos tiempos la extracción de materias primas naturales se ha vuelto más laboriosa y costosa debido al agotamiento de los recursos y las preocupaciones ambientales. El uso del desecho de mezcla asfáltica RAP en la construcción de pavimento se ha convertido en una solución viable y rentable al reducir la tasa de agotamiento de los agregados naturales y escombros de construcción. Para poder ser reciclada como materia primas en procesos constructivos como el hormigón. (Mahedi, M., Hossain, M. S., y Khan, M. S. 2017)

Estudio demuestran que la incorporación del desecho de mezcla asfáltico RAP es un producto viable para diferentes procesos constructivos. Según Coppola, et al. 2016 estudio la incorporación de RAP en la producción de hormigón midiendo las propiedades físicas del hormigón teniendo como objetivo el impacto ambiental en la reutilización de desecho asfáltico para el medio ambiente, los resultados obtenidos fueron positivos tanto en la trabajabilidad inicial como en la comprensión. El efecto probablemente podría ser atribuido a la presencia de restos de aceite que pueden jugar papel de aditivo en el hormigón. Sin embargo, El porcentaje de incorporación de desecho de mezcla asfáltica debe limitarse a 15% para evitar segregación del hormigón. (Coppola, L., Kara, P., y Lorenzi, S. 2016) Pero Mahmoud, E. et al, expone que la incorporación de desecho de mezcla asfáltica en hormigones autocompactante no poseen un buen comportamiento ya que La adición de RAP a las mezclas mostró un efecto con un descenso en la resistencia después de 3, 14 y 28 días a medida que el contenido de RAP aumentó de 0 a 50%. (Mahmoud, E., Ibrahim, A., El-Chabib, H., y Patibandla, V. C. 2013)

El reciclaje del desecho de mezcla asfáltica es una gestión primordial en conjunto con la reutilización del desecho de mezcla asfáltica para conseguir un buen aprovechamiento del desecho. No hace falta solo reutilizar el desecho de la mezcla asfáltica, sino que debe existir una unidad que gestione la acumulación del RAP y su gestión y colaboración de este para logra el flujo de economía circular que se busca llevar a cabo.

## 2.10 Reducción y minimización de materias primas en la producción de mezcla asfáltica.

Uno de los principales conceptos a nivel mundial hoy en día es el concepto de sostenibilidad en el medio ambiente. Por esta razón, hay una creciente demanda de la industria de la construcción para hacer uso efectivo de los recursos, así como para reducir y reutilizar materiales de desecho. La evidencia de esto es el aumento de regulaciones requisitos legales para reflejar los esfuerzos de los gobiernos nacionales e internacionales para fomentar el uso racional de los recursos naturales y reducir el volumen de materiales de desecho. (Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., y Taibo, J. 2007).

Con el rápido crecimiento de la economía y el aumento continuo del consumo, una gran cantidad de desechos de la industria de la construcción se genera. Este gran aumento de residuos plantea el reciclaje de gran parte de estos desperdicios en diferentes

producciones del área de la construcción para formar parte o tratar de disminuir la utilización de materias primas naturales. (Salem, Z. T. A., Khedawi, T. S., Baker, M. B., y Abendeh, R. 2017).

En la industria de la construcción se exige una utilización eficaz de los materiales y una reducción y valorización de los residuos. Una buena evidencia de esto es la realización de normas internacionales medio ambientales que se han llevado a cabo a nivel internacional para el uso racional de los recursos naturales y disminuir el volumen de vertido de desechos. La industria de la mezcla asfáltica por su nivel de producción es un gran consumidor de recursos naturales para llevar a cabo su producción. Es por esto que la industria de la mezcla asfáltica ha debido adaptar su producción a las necesidades medio ambientales internacionales de desarrollo sostenible es por esto que han surgido nuevos estudios que plantean la sustitución de áridos naturales de uso convencional por nuevos residuos de la construcción. (Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., y Taibo, J. 2007).

Para reducir las materias primas especialmente los agregados pétreos de la producción de mezcla asfáltica diversas investigaciones han planteado la incorporación de varios desechos de distintas producciones de construcción. La reducción de materia prima en la producción de mezcla asfáltica especialmente el agregado pétreo es evidente y necesario por las condiciones medio ambientales y costos asociados de producción. Cada vez se hace más difícil extraer áridos a nivel mundial por lo que la producción de mezcla asfáltica debe reutilizar sus desechos RAP para minimizar la incorporación de áridos. Diversos investigadores plantean la incorporación de otros desechos de diferentes industrias para bajar la incorporación de áridos en la producción de la mezcla asfáltica. De esta forma los ciclos de los desechos están siendo cerrados para considerar un sistema de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica.

Según Salem, Z. T. A et al, plantea la incorporación de desecho de vidrio triturado en reemplazo del agregado pétreo fino de la mezcla asfáltica. Su estudio demuestra que el desecho de vidrio alcanza porcentaje del orden del 3% del residuo domiciliario por lo que su almacenaje es muy elevado. El tratamiento del vidrio para su trituración comprende un ahorro de energía y disminuye los desperdicios ambientales domiciliarios. La cantidad incorporación del desecho de vidrio triturado es del 10% del agregado fino de la mezcla asfáltica.

Las ventajas de incorporación de desecho de vidrio triturado en la producción de mezcla asfáltica son el aumento de la estabilidad y durabilidad de la mezcla. La estabilidad se representa en una resistencia de la superficie de la carretera, esto reducirá los accidentes y ahorrará mucho dinero en las concesiones de carreteras. También se alcanza bajos costos de producción por la incorporación de un desecho y se considera una acción de iniciativa en el método de la Economía Circular. En la actualidad, el uso comercial de residuos el vidrio en las aplicaciones de pavimentación de asfalto se ha limitado a comunidades como la ciudad de Nueva York en los Estados Unidos, donde la cantidad de vidrio residual producido y recogido proporciona un incentivo suficiente para reciclarlo en aplicaciones de pavimento. La mayoría de las aplicaciones anteriores del

uso del vidrio se han limitado a pavimentos de prueba o aplicaciones especiales A fines de la década de 1960. (Salem, Z. T. A., Khedawi, T. S., Baker, M. B., y Abendeh, R. 2017).

Otro método de reciclaje de residuo para reducir las materias primas de la producción de mezcla asfáltica es la incorporación de caucho de neumático triturado y polímeros en sustitución del agregado pétreo fino. Según Del Barco-Carrión, A. J. et al. El uso de polímeros como modificadores del aglutinante en mezclas de asfalto es actualmente una práctica común en pavimentos a nivel de ingeniería, patentada desde 1843. En las últimas décadas, la adición de estos materiales, la mezcla asfáltica ha demostrado grandes mejoras en su rendimiento. (Del Barco-Carrión, A. J., García-Travé, G., Moreno-Navarro, F., Martínez-Montes, G., y Rubio-Gámez, M. C. 2016). Las mezclas asfálticas con la incorporación de polímeros y caucho triturado poseen una mayor resistencia al ruido y fisuraciones térmicas, disminuyen la fatiga, desprendimientos, deformaciones plásticas. (Kök, B. V., y Çolak, H. 2011).

La incorporación de caucho triturado y polímeros demuestran un gran potencial para ser una alternativas efectiva para la pavimentación en el ámbito de la ingeniería. En general el reciclaje de estos residuos aumenta la viscosidad y elasticidad, obteniendo aglutinantes que son más resistentes a la fatiga y la temperatura de agrietamiento. Sin embargo, hay diferentes parámetros que afectan el rendimiento final del caucho triturado y polímeros reciclados en la producción de mezcla asfáltica modificadas. (Huang, Y., Bird, R. N., & Heidrich, O. 2007)

Otro método de reciclaje de residuo en la producción de mezcla asfáltica es la incorporación de desecho de plástico triturado como agregado pétreo fino. Según Jafar, J. J. Reemplazar parte de los agregados pétreos finos con desechos reciclados de plástico tiene los beneficios de reducir la extracción de agregados pétreos, las cantidades de residuos plásticos desechados, y los residuos asociados impactos ambientales y sociales. Pero el uso de plástico de desecho como un reemplazo agregado pétreo fino parcial en productos de mezcla asfáltica, a menudo carece de una unión débil entre la superficie de plástico y el cemento asfáltico. Por esta razón es necesario incorporar aditivos de cohesión cuando se incorpora residuos plásticos en la producción de mezcla asfáltica. Para mejorar el rendimiento de las propiedades volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas. Con la incorporación de un 10% del contenido de agregado pétreo fino de la mezcla asfáltica se ve un aumento de la rigidez de la mezcla modificada. (Jafar, J. J. 2016).

El último método investigado de reciclaje es la incorporación de residuo de escombros de la construcción en la producción de mezcla asfáltica como agregado pétreo para la reducción de la materia prima de áridos.

Según Jayakovy, S. et al. Los materiales demolidos son cada vez más populares para ser reciclados y reutilizados debido a la escasez de recursos minerales naturales, aumentando el costo de eliminación de desechos y aumentando la demanda de materiales. Los materiales reciclados crean muchos beneficios económicos y ambientales. El hormigón triturado puede considerarse y promoverse como una alternativa y una fuente sostenible de agregado para la industria de la construcción. Los estudios han revelado que los agregados de hormigón reciclado pueden aplicarse como una sustitución parcial o completa de agregados naturales en la producción de mezcla asfáltica. Al incorporar hormigón triturado a la producción de mezcla asfáltica los resultados obtenidos La prueba de compactación proporcionó una absorción de agua relativamente más alta para un secado máximo densidad. (Jayakody, S., Gallage, C., y Kumar, A. 2014).

Según Rubio, M. C. et al. Los resultados de laboratorios obtenidos al mezclar escombros de construcción con mezclas asfáltica como incorporación de agregado pétreo tiene un resultado significativamente mejores que la mezclas asfálticas convencionales, utilizadas como referencias. Las Mezclas asfálticas realizadas en este estudio tenían una alta resistencia a la deformación plástica en comparación a las mezclas asfáltica normales. Las Mezclas asfálticas con incorporación de escombros de construcción tenían velocidades más bajas que la de la convencional en cuanto a las deformaciones. Según el autor estas pruebas realizadas son de laboratorio aún falta realizar pruebas a escala real para observar el comportamiento de la mezcla asfáltica con la incorporación de los escombros de construcción. (Rubio, M. C., Menéndez, A., Moreno, F., Belmonte, A., y Ramírez, A. 2011).

Pérez Pérez, I. et al. Expone que mezclas asfálticas con incorporación de escombros de construcción poseen un punto de absorción de agua mayor por el motivo de la alta porosidad que poseen los escombros introducidos, esto puede provocar fallas prematuras en una sección de pavimento construida con mezclas de asfalto con la incorporación de escombros.

Otro análisis realizado por Pérez Pérez, I. et al. La duración de fatiga de la mezcla de asfalto cayó con la incorporación de escombros de construcción y la rigidez aumenta, este análisis corrobora lo planteado por Rubio, M. C.

Finalmente Pérez Pérez, I. et al. Concluye que la incorporación de los escombros de construcción y demolición en mezclas asfálticas para pavimentos de carreteras todavía no es factible. Se necesita más investigación para garantizar la viabilidad técnica de las mezclas de asfalto incorporando agregados reciclados. Se dan algunas pautas para esta investigación futura. (Pérez Pérez, I., Gallego Medina, J., Toledano, M., & Taibo Pose, J. 2010).

La reducción de materias primas en la producción de mezclas asfáltica es una acción eminente que se debe llevar a cabo. El alto costo de extracción de áridos y elevados costos hace inviable la utilización del cien por ciento de las materias primas en la producción de mezcla asfáltica, es por esto que a través de reutilización del propio

desecho de la mezcla asfáltica RAP y el reciclaje de diversos desechos de otras industrias se tiene por objetivo disminuir las materias primas naturales principalmente de agregado pétreos.

Estas acciones tomadas por la industria de la mezcla asfáltica hacen que se cumplan uno de los objetivos de la Economía Circular para su implementación. El cual corresponde a la disminución o reducción de materias primas naturales a través del reciclaje o reutilización del RAP o de distintos desechos de diferentes industrias.

## 2.11 Disminución de los desechos y residuos en la producción de mezcla asfáltica.

La disminución de los desechos y residuos son factores claves para el desarrollo de la industria de la construcción. (Coppola, L., Kara, P., y Lorenzi, S. 2016) El concepto de sostenibilidad se ha convertido en una de las principales prioridades en la sociedad de hoy. Por esta razón, hay una creciente demanda de la industria de la construcción para hacer uso efectivo de los recursos, así como para reducir y reutilizar materiales de desecho, por motivos de almacenamiento y gestión de los desechos producidos. (Rubio, M. C., Menéndez, A., Moreno, F., Belmonte, A., y Ramírez, A. 2011).

La prioridad de sostenibilidad se evidencia en las diferentes naciones por el gran número de regulaciones legales y requisitos. Estas regularizaciones fomentan el uso racional de los recursos naturales e incentivan a reducir los desechos de las diferentes industrias.

La producción de mezcla asfáltica en la construcción de pavimentos es un consumidor importante de recursos naturales y productor de desechos. Es por esta razón que la industria de la producción de mezcla asfáltica ha debido adaptar sus procesos productivos y constructivos para adaptarse a las políticas de desarrollo sostenible planteadas por los gobiernos correspondiente. (Huang, B., Shu, X., y Burdette, E. G. 2006).

La adaptación de la producción de mezcla asfáltica es a través de la reutilización del desecho de mezcla asfáltica RAP en su producción como lo describimos en el capítulo “2.9.1 Tipos de reciclajes y reutilización de desechos de la producción de mezcla asfáltica”. En el cual se describe las diferentes técnicas constructivas y productivas para la disminución del desecho de mezcla asfáltica RAP a través de la reutilización en su propia producción. En este capítulo no se indaga en los objetivos y necesidades de reutilización o disminución de los desechos RAP, sino que solo se mencionó las técnicas de reutilización. En este capítulo se expondrán las necesidades de la industria de la producción de mezcla asfáltica a la reducción de sus desechos.

Diversos autores plantean necesidades que han llevado a la industria de la producción de mezcla asfáltica a disminuir sus desechos. Según Mahmoud, E. et al. La necesidad se provoca por una disminución de la demanda de materias primas de la producción del

asfalto. El cemento asfáltico como derivado del petróleo implica un costo enorme de extracción al igual que los agregados pétreos que cada vez están más escasos esto implica un aumento en los costos de producción de mezcla asfáltica. El objetivo de la producción de mezcla asfáltica para disminuir sus desechos es la reutilización del RAP en su producción para suplantar en porcentajes considerados en estudios y disminuir los costos de producción. (Mahmoud, E., Ibrahim, A., El-Chabib, H., y Patibandla, V. C. 2013). Mallick, R. et al. Afirma el objetivo de disminución de Mahmoud, E. et al. Afirmando que el uso de RAP para producir mezclas asfálticas frías o calientes es una de las métodos que apuntan a la reducción de costes.

Según Tao, M. et al. La reutilización del desecho de la mezcla asfáltica RAP ayuda en la reducción del desecho por lo tanto es ecológico, ahorra recursos naturales y dinero en la producción. El objetivo de la disminución del desecho RAP es un factor ambiental en conjunto con una disminución de costos (Tao, M., y Mallick, R. 2009).

El reciclaje de pavimentos se ha convertido es una de las más atractivas alternativas de restauración del pavimento de los últimos años ayudando al ámbito ambiental. Este crecimiento de disminución del desecho RAP seguirá siendo la técnica de rehabilitación más atractiva sobre la base de la evaluación continua de construcción de pavimentos. (Shahadan, Z., Hamzah, M. O., Yahya, A. S., y Jamshidi, A. 2013).

La disminución del desecho RAP reutilizándolo nuevamente en la producción tiene efectos positivos en la conservación de la energía y efectos ambientales. Para Wasiuddin, N. et al. La producción de mezcla asfáltica es una amenaza para el medio ambiente, cualquier acción que se realice para disminuir esta amenaza es una buena acción ambiental. Wasiuddin, N., Selvamohan, S., Zaman, M., & Guegan, M. (2007).

Según las investigaciones analizadas los objetivos principales para llevar a cabo la disminución de desecho asfáltico son la disminución de costo, efectos ambientales y normas vigente de sustentabilidad. Bajo estos objetivos la industria de la mezcla asfáltica debe acatar para entrar en un mercado competitivo.

## 2.12 Equilibrio eficiente de energía y procesos constructivos ecológicos en la producción de mezcla asfáltica.

La industria de la mezcla asfáltica posee un proceso de producción con temperaturas muy elevadas. El rango de temperatura de trabajo es de 150° C a 180° C para alcanzar la viscosidad requerida del cemento asfáltico. Este proceso de fabricación implica elevados costos y contaminantes ambientales producto del gran consumo energético que esto implica.

La producción de mezcla asfáltica tiene un consumo primario total de energía mayor que la producción de hormigón. (Yang, R., y Al-Qadi, I. L. 2017). Este consumo primario de energía se debe a las grandes cantidades de petróleo necesarios para alcanzar las temperaturas necesarias de producción. Estudios recientes están buscando una solución

para reducir el consumo de petróleo crudo y en consecuencia, su subproducto Betún asfáltico que se utiliza en el asfalto. (Sengoz, B., Topal, A., Oner, J., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., y Kok, B. V. 2017)

La industria del asfalto a través de estudios ha experimentado con nuevas innovaciones y tecnologías para disminuir el consumo energético sin perjudicar las propiedades de las mezclas asfálticas. En la industria del asfalto se encuentran las mezclas asfálticas frías, las cuales no requieren de elevadas temperaturas para su elaboración solo se necesitan de emulsiones asfáltica mezcladas con el agregado pétreo por lo que provocan un menor consumo de energía. Pero estas mezclas no alcanzan el desempeño de las propiedades de una mezcla asfáltica convencional en caliente. Las mezclas asfálticas en frío poseen elevados porcentajes de vacíos y requieren periodos largos de quiebre o curado. Por lo que no son alternativas al compararlo con las mezclas convencionales en caliente. (Lesme Brun, J. G. 2015).

Diversos investigadores sugieren para mantener el equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica es necesario producir mezclas asfálticas tibias o Warm Mix Asphalt. Estas mezclas reducen la producción y temperaturas de compactación de las mezclas de asfalto sus propiedades mecánicas y durabilidad son igual o superior a las mezclas asfálticas convencionales en caliente. La disminución de la temperatura se logra a través de la incorporación de aditivos o modificaciones en el proceso de producción del mezclado, disminuyendo la viscosidad del cemento asfáltico sin la necesidad de alcanzar temperaturas elevadas como la de la mezcla asfáltica en caliente sino que la temperatura de producción se reduce entre un 15°C a 70°C respecto a las mezclas convencionales en caliente. (Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., y Fernández Gómez, W. D. 2017). Las Mezclas asfálticas tibias reducen el combustible de producción en un 40% con respecto a la producción de las mezclas asfálticas convencionales. (Ulloa-Calderón, A. 2011).

Algunos investigadores afirman que en casos muy específicos las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas tibias son menores en comparación con las mezclas asfálticas en caliente. Es el caso específico en la resistencia al ahuellamiento y al daño por humedad debido a que las menores temperatura de producción es insuficiente para el secado del agregado pétreo lo que produce una pérdida de adherencia entre el cemento asfáltico y el agregado pétreo. (Kavussi, A., y Hashemian, L. 2012). (Kim, S., Park, J., Lee, S., y Kim, K. W. 2014).

Existen tres procesos constructivos de fabricación de mezclas asfálticas tibias. La primera consiste en modificar el asfalto con aditivos orgánicos, la segunda consiste en una modificación con aditivos químicos y por último es el espumado del asfalto. (Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., y Fernández Gómez, W. D. 2017). Los aditivos modificadores tanto orgánicos como químicos se incorporan en el proceso de producción de la mezcla asfáltica en la fase del premezclado en el tambor mezclador o se pueden pre mezclar con el cemento asfáltico antes de entrar al tambor mezclador. La segunda técnica de mezclado es la más apropiada para obtener una incorporación más

homogénea del aditivo con la mezcla en un menor tiempo de mezclado. (Ulloa-Calderón, A. 2011).

El proceso de producción de mezcla asfáltica con la incorporación de aditivos orgánicos y/o químicos no requiere de modificaciones y grandes inversiones en las plantas de asfalto para lograr las mezclas asfálticas tibias. Además se emplean las mismas especificaciones y ensayos estándar de las mezclas asfálticas convencionales en caliente. (Reyes Ortíz, O. J., Fuentes Pumarejo, L. G., y Moreno-Torres, O. H. 2013).

La técnica de Asfalto Espumado consiste en agregar cantidades controladas de aire comprimido y agua al cemento asfáltico caliente dentro de una cámara de expansión. (Thenoux, G. J., y Jamet, A. 2002). El resultado de esta combinación produce un efecto espumado en el asfalto aumentando el volumen y reduce la viscosidad.

Para la producción de mezclas asfálticas con el método constructivo de espumado el agregado pétreo debe ser agregado mientras el asfalto está en estado espumado. Al desintegrarse la burbuja en presencia del agregado pétreo, las partículas de cemento asfáltico se cohesionan con las partículas más finas del agregado pétreo, este proceso se denomina dispersión del asfalto. Esto resulta una pasta de cemento asfáltico y agregado pétreo fino y asfalto que actúa como mortero entre los agregados pétreos gruesos. Las principales aplicaciones para la técnica de asfalto espumado son a través del reciclado en frío de pavimentos asfálticos y la estabilización de suelos.

El equilibrio eficiente de la energía en la producción mezcla asfáltica es un factor que se está considerando a nivel mundial. A través de procesos productivos innovadores que buscan disminuir las temperaturas de producción de mezclas asfálticas, es inminente la repercusión que tiene la producción de mezcla asfáltica en el ambiente. Este equilibrio energético de producción realizado con procesos constructivos ecológicos es una de los factores que se consideran para vincular un sistema de economía circular en una producción, por esta razón es que las plantas de asfálticas deberían considerar este tipo de gestión ecológica en su producción para ser consideradas como una economía circular de producción.

### 2.13 Reducción de emisiones contaminantes en las plantas de producción de mezcla asfáltica.

La industria de la producción de mezcla asfáltica contribuye de gran manera a la generación de contaminantes hacia la atmosfera. Esto se genera por la gran combustión que la producción involucra para alcanzar las temperaturas deseadas. (Rosales M. D. J., Villarreal A. R. y Castro J. C 2017). Entre los contaminantes atmosféricos se encuentran materiales particulares, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de azufre (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>), los óxidos nitrógenos (NO y NO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de

agua, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). (Peng, B., Cai, C., Yin, G., Li, W., y Zhan, Y. 2015).

La emisión descontrolada de contaminantes de las plantas de asfalto hacia el aire afecta la calidad y por lo tanto la salud de los seres vivos. Provocando en el hombre enfermedades como el cáncer, problemas respiratorios, enfermedades hepáticas, irritación a la piel y diversos problemas que afectarían al entorno ambiental en donde se ubica la planta de asfalto. (Guerrero Pacheco, J. P. 2014).

La principal fuente de emisiones contaminantes en la producción de mezcla asfáltica se encuentra en el tambor de secado. En donde se alcanza las mayores temperaturas y por lo tanto en este sector es donde se emiten la mayor cantidad de contaminantes atmosférico. (Castillo, E., Acevedo, L., y Orduz, J. 2000).

En la fabricación de mezcla asfáltica se pueden utilizar diversos tipos de combustibles para iniciar su producción. Entre los que se identifican del tipo sólido como es el carbón, del tipo líquido diesel, aceites pesados y biodiesel, y del tipo gaseoso como es el gas natural. (Tang, B., y Isacson, U. 2006).

En Chile los combustibles del tipo líquidos (diesel, aceites pesados y biodiesel) son los más utilizados en diversas industrias por su bajo costo y su alto poder calorífico. En Estados Unidos el uso de combustibles posee grandes restricciones, no se puede utilizar combustibles sólidos en el ámbito industrial solo se utilizan combustibles livianos del tipo diesel, biodiesel y gas natural. Alrededor del 80% de la producción de mezcla asfáltica en Estados Unidos se realiza con gas natural por su baja emisión de contaminantes hacia la atmosfera. El considerar gas natural en vez de diesel en la producción de mezcla asfáltica reduce las emisiones en un 70% de monóxido de carbono (CO), 16% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 10% de óxidos nitrógenos (NO<sub>x</sub>) y un 25% de óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>). (Castillo, E., Acevedo, L., y Orduz, J. 2000).

Según (Ambiental, P. O. C. H. 2008). . La emisión de gases nocivos para el aire en la producción de mezcla asfáltica en Chile es la siguiente, la estimación de emisiones se realiza multiplicando los factores de emisión por las toneladas anuales de producción de mezcla asfáltica:

Factores de emisión asociados a la producción de mezcla asfáltica.

Emisiones	Factor de emisión (Kg/t asfalto)
<b>Planta de Asfalto</b>	
SO <sub>2</sub>	0,12
Nox	0,084
CO	0,035
Compuesto orgánicos volátiles	0,023
<b>Construcción de pavimentos</b>	
Compuesto orgánicos volátiles	320

**Tabla 3** Factores de emisión asociados a la producción de mezcla asfáltica.

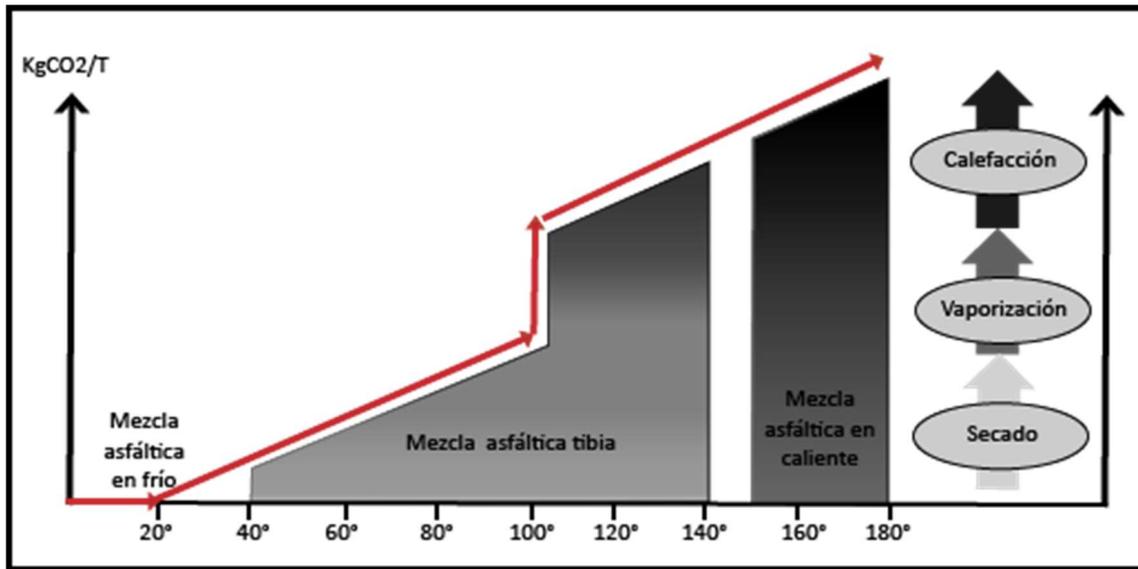
**Fuente:** Ambiental, P. O. C. H. (2008). Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero. Santiago de Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente Conama.

Según Jerez Niño, O. M. (2010). Los factores que más afectan a la emisión de contaminantes es el consumo desproporcionado de energía (combustible) y una gestión irregular de los recursos. Se debe tener en cuenta en la producción de mezcla asfáltica un plan de manejo residual. De los residuos generados por una planta de asfalto el 88% son de carácter industrial y el 64% corresponden a residuos peligrosos. (Jerez Niño, O. M. 2010).

Para realizar una reducción de contaminantes en una planta de asfalto es necesario realizar gestiones previas de materias primas y distribución de material a la producción de la mezcla asfáltica. Para disminuir variables que aumentan la emisión de contaminantes al medio ambiente, como la presión del secador, la humedad de los agregados pétreos, el tipo de combustible utilizado en la producción y la velocidad de producción. Sino no existe una gestión de estos factores previos a la producción la emisión de contaminantes aumenta. Por otra parte una buena mantención y carburación de una planta de asfalto puede reducir significativamente las emisiones de los contaminantes. (Paranhos, R. S., y Petter, C. O. 2013)

Para disminuir la emisión de contaminantes de la producción de mezcla asfáltica la alternativa de producción de mezclas asfálticas tibias es una alternativa viable para disminuir los gases contaminantes. Estas mezclas al disminuir la temperatura de producción permiten disminuir considerablemente las emisiones de gases y polvo al medio ambiente durante el proceso de producción y construcción de pavimentos, sin que perjudiquen el desempeño de las mezclas asfálticas. El diseño y construcción de las

mezclas asfálticas tibias son un conjunto de tecnologías desarrolladas en respuesta a la emisión de gases invernaderos. (Ulloa-Calderón, A. 2011).



**Ilustración 3** Emisión de  $\text{kgCO}_2/\text{Ton}$  Asfalto según tipo de mezclas asfálticas.

**Fuente:** Comisión permanente de asfalto, Argentina 2008.

La gestión de reducción de contaminantes en la producción de mezcla asfáltica depende de las nuevas tecnologías e innovaciones. Tanto en la producción como la construcción de pavimentos de mezcla asfáltica, si se mantienen las producciones lineales establecidas o no se realiza una innovación de las nuevas tecnologías es imposible considerar una economía circular en una producción de mezcla asfáltica obsoleta olvidada del medio ambiente. Es preciso innovar con el objetivo medio ambiental.

#### 2.14 Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico en la producción de mezcla asfáltica.

La tierra cada vez está más contaminada y con un deterioro al medio ambiente creciente, la preservación de las materias primas naturales se ha convertido en una preocupación general. Lo que ha llevado a elevar los costes de extracción de materias primas en toda industria de producciones. La industria de la mezcla asfáltica no ha pasado desapercibida y ha debido buscar alternativas de modificaciones de mezclas asfálticas para disminuir sus materias primas. (Figueroa-Infante, A. S., Fonseca-Santanilla, E. B., y Reyes-Lizcano, F. A. 2009).

El envejecimiento prematuro de los pavimentos de mezcla asfáltica posee un costo elevado de mantención. Por lo que la industria de producción de mezcla asfáltica ha debido innovar e investigar en hacer mezclas asfálticas con una vida útil más extendida por los costos asociados de mantención y reconstrucción. Los elevados costos asociados a la producción de mezcla asfáltica es un inconveniente que depende directamente del aumento internacional de los valores del cemento asfáltico y la extracción de los

agregados pétreos, lo cual produce una inestabilidad en el mercado de los pavimentos. (Rodríguez, R. A. A., y Ayala, J. L. D. 2005)

El reciclado en la producción de mezcla asfáltica en los tiempos de hoy no es un proceso nuevo. Las técnicas de reutilización de materiales y reciclado de los desechos de la mezcla asfáltica se comenzaron a utilizar en respuesta a la crisis del petróleo de 1973. Actualmente por exigencias medio ambientales y económicas de diversos países la reutilización y reciclado de desechos para abaratar costos ha sido una necesidad empírica de la industria de la mezcla asfáltica. (Alarcón Ibarra, J. 2003).

La mantención de los costes en la producción de mezcla asfáltica tiene como objetivo la disminución de la utilización de materias primas natural. Esto se realiza a través del reciclado y reutilización de los desechos propios o desechos de otras industrias. Con el objetivo de la conciencia medio ambiental a nivel mundial. Se disminuyen costes de producción y se minimiza el impacto de producción hacia el medio ambiente.

El valor añadido ecológico en la producción de mezcla asfáltica es un proceso de investigación e innovación que se ha mantenido durante 30 años. La búsqueda de abaratar costos de producción a través de la minimización del impacto ambiental ha dado pie a diversos investigadores a buscar nuevas técnicas de construcción y producción de mezcla asfálticas. (Alarcón Ibarra, J. 2003). Entre las técnicas que destacan son:

- Reutilización de desecho asfáltico RAP.
- Reciclado de desecho asfáltico RAP.
- Utilización de desechos de otras industrias en la producción de mezcla asfáltica.
- Incorporación de modificadores en la producción de mezcla asfáltica.
- Producción de mezclas asfálticas tibias.

El objetivo de mantención del valor añadido ecológico en la industria de producción de mezcla asfáltica es un hecho inminente porque a través de este sistema la industria se abarata costos de producción de mezcla asfáltica.

En Chile se están realizando normativas y programas para incentivar el potencial sustentable que posee la industria de la construcción. Las normas vigentes de *“Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (LEY N°20.920)”*, promulgada el 1 de junio de 2016. Y el programa Estratégico Productividad y Construcción Sustentable. *“El cual consiste en mejorar la productividad en la industria de la construcción, en todos sus sectores, incorporando la sustentabilidad como factor añadido de competitividad, reducir costos de operación y generar conocimiento asociado para un mercado global, fortaleciendo la cadena de valor”*. (Construye 2025 Ministerio de Economía, Fomento y Turismo Gobierno de Chile, 2017),

En Chile el incentivo a los procesos de producción sustentable en la construcción está siendo un hecho eminente en esta sociedad. Lo que ayuda a promocionar un sistema de

Economía Circular en el cual la industria de la producción de mezcla asfáltica debería tomar provecho de esta situación para promover su valor añadido ecológico.

## 2.15 Barreras de implementación de la Economía Circular en producción de mezcla asfáltica.

El desarrollo de un sistema de Economía Circular debe enfrentar diversas barreras que se deben traspasar de forma colaborativa entre productores y consumidores. A través de gestionar la transformación radical de los procesos de consumo y producción, incentivando y promoviendo las transformaciones de los procesos de los ciclos de materiales y energéticos propias de la producción. Además deben existir incentivos normativos empleados por los gobiernos para realizar el cambio a un sistema productivo cíclico. (Ordaz, G. I. G., y Vargas-Hernández, J. G. 2017)

El cambio de sistema a un sistema de Economía Circular requiere un progreso en términos de innovación en diferentes ámbitos que se muestran a continuación:

**Economía:** Para llevar a cabo la Economía Circular se precisa una reforma fiscal a nivel de gobierno a mediano plazo que incluya medidas para dirigir a la sociedad.

En Chile se han generado reformas para incentivar el reciclaje a nivel de producción industrial un claro ejemplo es la ley Nº20.920 “Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor” que fomenta la reutilización de los residuos y establece las responsabilidades del productor para hacerse cargo de la gestión de los residuos provocados por su producción.

**Capacitación:** El desarrollo de la Economía Circular no se puede llevar a cabo no tan solo con los cambios de producción si no que debe cambiar los requerimientos de consumo. Desarrollando capacitaciones sociales por una producción sustentable, que no provoque alteraciones negativas hacia el medio ambiente.

**Tecnología:** Para la implementación de la Economía Circular es preciso incentivar el desarrollo tecnologías que favorezcan el reciclaje, reutilización de los desechos de cada producción y reducción de las materias primas. Además el desarrollo tecnológico debe disminuir la eficiencia energética de cada producción.

**Normas:** Es preciso que cada país que desee implementar un modelo Economía Circular debe poseer una legislación acorde y reguladora de las gestiones de organizaciones productoras. La legislación posee un rol primordial en lo que concierne a la contratación pública. Debe facilitar un sistema de compra que favorezca a la producción de una Economía Circular. (Ordaz, G. I. G., y Vargas-Hernández, J. G. 2017)

Según Vasquez, A. Cristina. Las barreras de implementación de la economía Circular en la producción se reconocen cuatro factores. Que provocan fugas que no permiten cerrar

el ciclo de producción de la economía circular. (Vasquez, A. Cristina. 2016) Estos factores se harán una analogía con la producción de mezcla asfáltica a continuación:

**Dispersión geográfica provoca puntos de fugas:** Para llevar a cabo una Economía Circular se debe analizar la dispersión geográfica de las materias primas para que no se produzcan puntos de fuga en los ciclos de producción cíclica de la Economía Circular. (Vázquez, 2016). En la producción de mezclas asfálticas las materias primas son almacenadas en las propias plantas de producción. Generalmente las plantas de asfalto son localizadas cerca donde se realiza la extracción de áridos para disminuir su traslado. En el caso del cemento asfáltico en Chile esta materia prima es exportada por lo que su traslado es inminente lo que aumenta el costo de producción.

**Clasificación de la cadena de suministro:** La barrera de clasificación de la cadena de suministro está condicionada por la vida útil posterior del producto fabricado. En el caso de la industria de la mezcla asfáltica cuando la vida útil del pavimento cumple objetivos, el desecho se puede reutilizar in situ sin transporte o bien se traslada nuevamente a las plantas para reincorporarla a la producción. Este proceso en la industria de la mezcla asfáltica debe contar con una gestión y planificación previa. La reutilización del desecho de la mezcla asfáltica permite disminuir los costos de producción.

**Fugas provocadas por el incremento de materiales.** Debido a esta complejidad buscada en los materiales es que resultan difíciles y costosos los procesos de separación de materias primas para su reutilización y no asegura la calidad de las materias primas puras. Ese problema en la industria de la mezcla de asfalto no es necesario la separación del desecho RAP porque su reincorporación en la plantas de asfalto es total sin separar sus materias primas.

**Seguir en procesos de sistemas lineales.** La mayor barrera que presenta la implementación de una Economía Circular es seguir una producción con fundamentos de la producción lineal. En la industria del asfalto por el alto costo que implica la extracción de las materias primas para mantenerse en el mercado es preciso reutilizar y reciclar sus desechos para avatar costo de producción y competir en el mercado Chileno.

### **3. CAPITULO 3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.1 Tipo de Investigación.**

Por la condición de los objetivos planteados en esta investigación es de carácter descriptivo. Se busca la descripción de la situación actual de la producción de mezcla asfáltica en Chile bajo las condiciones de una Economía Circular. Según la información recogida esta investigación es de carácter Cualitativo.

#### **3.2 Diseño de la investigación.**

La presente investigación está definida en dos etapas. La primera etapa consiste en la búsqueda de la información la cual se define como la etapa metodológica y teórica. La segunda etapa es la validación empírica y analítica a través de una encuesta a un grupo de expertos en la producción de mezcla asfáltica en Chile, sus resultados son analizados por medio de procedimientos estadísticos. A continuación se describen las diferentes etapas de la investigación.

##### **3.2.1 Etapa Metodológica y Teórica.**

Esta fase de la investigación consiste en un análisis documental de forma general y específico de los conceptos a investigar. Contextualizando los objetivos de la investigación y abarcando todas las lagunas existentes sobre el tema. A continuación se identifican las sub etapas de la etapa Metodológica y Teórica.

**Búsqueda preliminar de información:** Esta sub etapa consiste en una búsqueda general para contextualizar los conceptos que conlleva la investigación. Las palabras claves que se utilizaron en esta sub etapa son, Economía Circular, Plantas de asfalto, reciclaje, reutilización. Los sitios consultados fueron Google académico, TFM`s y tesis doctorales.

**Búsqueda de Bibliométrica:** Esta fase es una búsqueda específica en bases de datos de revistas científicas (Web of Science y Scopus) las palabras utilizada para la búsqueda fueron: CIRCULAR ECONOMY, RECYCLING IN CONSTRUCTION, CIRCULAR ECONOMY IN CONSTRUCTION, RECYCLING OF ASPHALT, REUSE OF ASPHALT WASTE, REUSE OF ASPHALT MIXTURES.

**Clasificación de artículos:** Esta sub etapa se desarrolla posterior a la búsqueda de bibliométrica. Tiene por objetivo la clasificación de los artículos relacionados con las palabras claves utilizadas. El método de filtro que se utiliza es según el grado de información de los artículos (Alto, Mediano y Bajo).

Elaboración del contexto: En esta sub etapa se contextualiza el sector de la producción de mezclas asfáltica en Chile, las Leyes medio ambientales Chilenas e internacionales a cerca de la Economía Circular.

Estado del Arte: En esta sub etapa se realiza un análisis y síntesis de la información obtenida en las anteriores sub etapas con respecto a la Gestión de la Economía Circular en la producción de mezclas asfálticas en Chile. Según las tecnologías nuevas, técnicas de producción y construcción favorables con el medio ambiente.

El desarrollo de la etapa de metodológica y teórica con todas sus sub etapas se encuentran desarrolladas en los capítulos 1 y 2 de esta investigación.

Sub etapas en la etapa de Metodología y Teórica con sus respectivos objetivos.

Etapa de la investigación	Sub etapa de la investigación	Objetivo
Fase Metodológica y Teórica	Búsqueda Preliminar de información	Búsqueda general en TFM, Tesis doctorales y Google académico acerca de la Economía Circular
	Búsqueda Bibliométrica	Búsqueda en artículos científicos utilizando bases de datos de Scopus y Web of Science
	Clasificación de artículos	Obtenida la información para la investigación es necesario clasificarla.
	Contexto de investigación	Situación de las producción de mezcla asfáltica en Chile respecto Al sistema de Economía Circular
	Estado del Arte	Análisis de artículos científicos relevantes, elaboración de marco teórico.

**Tabla 4** Sub etapas en la etapa de Metodología y Teórica con sus respectivos objetivos.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.2 Etapa de Validación empírica y analítica.

Esta etapa de la investigación considera la elaboración de una encuesta constituida con preguntas del tipo cerrada. Las preguntas cerradas se caracterizan por su contenido de opciones de respuestas que han sido previamente delimitadas, esto quiere decir que se presenta las posibilidades de respuestas a los encuestados, quienes deben acotarse a estas. (Hernández, L. R. 2012).

Las respuestas cerradas del cuestionario son múltiples por cada pregunta y las respuestas de la encuesta de esta investigación se sustentan en los documentos e información analizada en la etapa de metodología y teórica.

En primer lugar se realiza una prueba piloto para observar el funcionamiento de la encuesta, posterior se realiza la difusión de la encuesta por medios electrónicos a las diferentes plantas de asfalto chilenas para el desarrollo de la encuesta y para finalizar se realiza en procesamiento de datos mediante procedimientos estadísticos, los que nos permiten el análisis de resultados.

### 3.2.3 Aplicación de la encuesta.

Para llevar a cabo la elaboración de la investigación se acude a una encuesta que se realiza con la clasificación de los artículos científicos encontrados los cuales permiten realizar una matriz en la que cada pregunta de la encuesta está justificada y fundamentada a través de citas científicas. Para ello se realizó cuatro preguntas de caracterización y 19 preguntas relacionadas con la gestión de la Economía Circular en las plantas de asfalto en Chile. Y para finalizar la encuesta un apartado libre de comentarios. A continuación se muestra la estructura de la encuesta a realizar.

- a) Explicación del objetivo de la investigación.
- b) Caracterización del encuestado. Son preguntas directas en donde la escala de Likert no aplica, estas preguntas son para realizar estimaciones de la cantidad de producción de las plantas de mezcla asfáltica, Región chilena en donde se produce, tipo de planta de producción de mezcla asfáltica.

Preguntas de caracterización:

1. Puesto de trabajo que desempeña:
  - a. Jefe de Planta
  - b. Jefe de Operaciones
  - c. Encargado de Planta
  - d. Supervisor de Planta
  - e. Gerente de Producción

2. Localidad (Región chilena):

- a. XV de Arica y Parinacota
- b. I de Tarapacá
- c. II de Antofagasta
- d. III de Atacama
- e. IV de Coquimbo
- f. V de Valparaíso
- g. VI del Libertador General Bernardo O´higgins
- h. VII del Maule
- i. VIII del Bio Bio
- j. IX de la Araucanía
- k. XIV de los Ríos
- l. X de los Lagos
- m. XI Aysén
- n. XII de Magallanes
- o. Región Metropolitana

3. Producción promedio mensual de mezcla asfáltica:

- a. <500 Toneladas
- b. 500-2000 Toneladas
- c. 2000-7000 Toneladas
- d. 7000-10000 Toneladas
- e. >10000 Toneladas

4. Tipo de planta asfáltica (Continua o Discontinua):

- a. Planta asfáltica Continua
  - b. Planta asfáltica Discontinua
- c)** Las preguntas de la investigación son las que representan las variables a ser analizadas. Estas variables fueron extraídas de la búsqueda bibliométrica realizada posterior a la revisión y análisis de los documentos. Los constructos a encuestar son en función a las acciones o variables a analizar, que se deben llevar a cabo para proporcionar un sistema de Economía Circular en cualquier tipo de producción. Las variables a analizar en este cuestionario son del tipo medición nominal, ya que se pretende profundizar más en un tema específico y en función de esto se desarrollan preguntas del tipo cerrada, ya que estas se utilizan con el fin de dejar constancia acerca de la realidad de producción de mezcla asfáltica con respecto a la Economía Circular en Chile con respecto a su realidad y

acciones llevadas a cabo en el medio nacional de producción. Los constructos con sus respectivas variables son las siguientes:

**Constructos con sus variables respectivas para la encuesta.**

<b>Principios de implementación de la Economía Circular</b>	<b>Acciones o variables</b>
Incrementar y conservar los recursos	Reducción y minimización de materias primas.
	Disminución de los desechos y residuos.
Optimización de los recursos naturales	Equilibrio eficiente de energía, recursos renovables y reciclables.
	Reducción de emisiones contaminantes.
Promover la producción cíclica	Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico.

**Tabla 5** Constructos y Variables de la encuesta.

**Fuente:** Elaboración propia.

- d) Por ultimo al final de la encuesta se incorpora una sección en donde el encuestado puede dejar un comentario de lo que estime conveniente.

**Tabla 6** Matriz para la elaboración de preguntas

<b>Concepto generales</b>	
¿Conoce usted el concepto de Economía Circular?	
¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?	(Roberts, H., & Robinson, G. 1999) (Chacin, J., & Abreu, Y. 2015)
<b>Incrementar y conservar los recursos</b>	
En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?	(Kandhal, P. S., & Mallick, R. B. 1997) (Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., y Taibo, J. 2007) (Del Barco-Carrión, A. J., García-Travé, G., Moreno-Navarro, F., Martínez-Montes, G., y Rubio-Gámez, M. C. 2016)
¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?	(Farooq, M. A., y Mir, M. S; 2017) (Gandi, A., Carter, A., & Singh, D; 2017)
En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?	(Farooq, M. A., y Mir, M. S; 2017) (Gandi, A., Carter, A., & Singh, D; 2017)
En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?	(Potti, J. Jose; 2014)
En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?	(Farooq, M. A., & Mir, M. S; 2017)
¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?	(Rubio, M. C., Menéndez, A., Moreno, F., Belmonte, A., y Ramírez, A. 2011) (Mahmoud, E., Ibrahim, A., El-Chabib, H., y Patibandla, V. C. 2013) (Huang, B., Shu, X., y Burdette, E. G. 2006)

<b>Optimización de los recursos naturales</b>	
¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica?	(Yang, R., y Al-Qadi, I. L. 2017) (Sengoz, B., Topal, A., Oner, J., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., y Kok, B. V. 2017)
En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?	(Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., y Fernández Gómez, W. D. 2017) (Ulloa-Calderón, A. 2011)
¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?	
En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?.	(Peng, B., Cai, C., Yin, G., Li, W., y Zhan, Y. 2015) (Guerrero Pacheco, J. P. 2014) (Paranhos, R. S., y Petter, C. O. 2013)
¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?	(Tang, B., y Isacson, U. 2006)
¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes?	
<b>Promover la producción cíclica</b>	
La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente?	(Figueroa-Infante, A. S., Fonseca-Santanilla, E. B., y Reyes-Lizcano, F. A. 2009) (Rodríguez, R. A. A., y Ayala, J. L. D. 2005)
¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?	
Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?	(Alarcón Ibarra, J. 2003)
¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?	

<b>Barreras de implementación de la Economía Circular</b>	
¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?	(Vasquez, A. Cristina. 2016)
Para lograr un sistema de Economía Circular de producción cíclica, ¿Cuál cree usted que es el área que precisa una mayor innovación?	(Ordaz, G. I. G., y Vargas-Hernández, J. G. 2017)

Prueba Piloto de encuesta: se realizara con el apoyo de la planta de asfalto de Rancagua de la empresa BITUMIX S.A en la cual se encuesto al jefe de planta de asfalto y al jefe de operaciones del área de construcción. De igual forma se realizaron pruebas con colegas Ingenieros constructores chilenos para asegurar la claridad y comprensión de algunos términos utilizados en la encuesta en la cual se solicitó observaciones y recomendaciones pertinentes.

Difusión de la encuesta: La difusión de la encuesta se realizó a través de contactos de trabajadores de plantas de asfalto principalmente. El otro medio fue a través de contacto en páginas comerciales de las plantas de asfalto en todo Chile. En ambos caso la comunicación se realizó a través de medios electrónicos (Correos E-MAIL, Facebook, LinkedIn).

Almacenamiento de datos: La encuesta se realizó a través de la aplicación de la herramienta on-line Google Drive. La cual arroja los datos obtenidos en una hoja de cálculo Excel la cual se almacena y se procesan los datos.

### 3.2.4 Análisis y estudio de los resultados.

Análisis de datos: se validan los datos de las encuestas realizadas, y se realizan descripciones elementales. Posterior a la validación de datos se procesan por medio del programa estadístico IBM SPSS Statistics.

Análisis de los resultados: este proceso se realiza por medio de la obtención de los procesamientos de datos posterior a su almacenamiento en tablas y gráficos estadísticos. Se identifican las limitaciones de la encuestas y se deducen las conclusiones de la investigación y se plantean futuras líneas de investigación.

## 3.3 Población y Muestra.

### 3.3.1 Descripción de la población

La población de la investigación está compuesta por personas que trabajan y posean cargos de jefaturas en la diversas plantas de asfalto a lo largo de todo Chile. Según la investigación realizada en Chile existen alrededor de 118 plantas de asfaltos en toda la extensión del país y en las diferentes regiones que lo componen.

### 3.3.2 Descripción de la muestra.

Como en la investigación se trata de una población finita de 118 plantas de asfaltos chilenas (Instituto chileno del asfalto), es decir se conoce el total de la población y deseamos saber cuánto del total tendremos que estudiar la fórmula es:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

N= Total de la población.

Z= 95% de confiabilidad.

p= Probabilidad de ocurrencia.

d= Precisión.

q= Probabilidad de ocurrencia.

El tamaño de la muestra obtenido es de n= 63, el nivel de confianza asumido es del 95%, del mismo modo se asume que “q” y “p” serán de un 50% (No se posee ninguna idea de dicha proporción por lo que se utiliza un 50%) el error muestral es de un 8.47%. Los errores comunes suelen fijarse en un 5% a 1%. (Hernández, L. R. 2012).

### 3.3.3 Caracterización de la Encuesta.

A continuación se muestran las características de los 63 encuestados. Los rasgos de caracterización fueron: Puesto de trabajo que desempeña, Región de Chile Donde se ubica la planta (Localidad), Producción mensual de mezcla asfáltica y tipo de planta asfáltica.

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Cargo	63	1	5	2,92	1,222
Producción	63	1	5	2,30	,733
Localidad	63	1	15	8,35	4,120
Tipo Planta	63	1	2	1,27	,447
N válido (por lista)	63				

**Tabla 7** Estadísticos descriptivo de preguntas de caracterización.

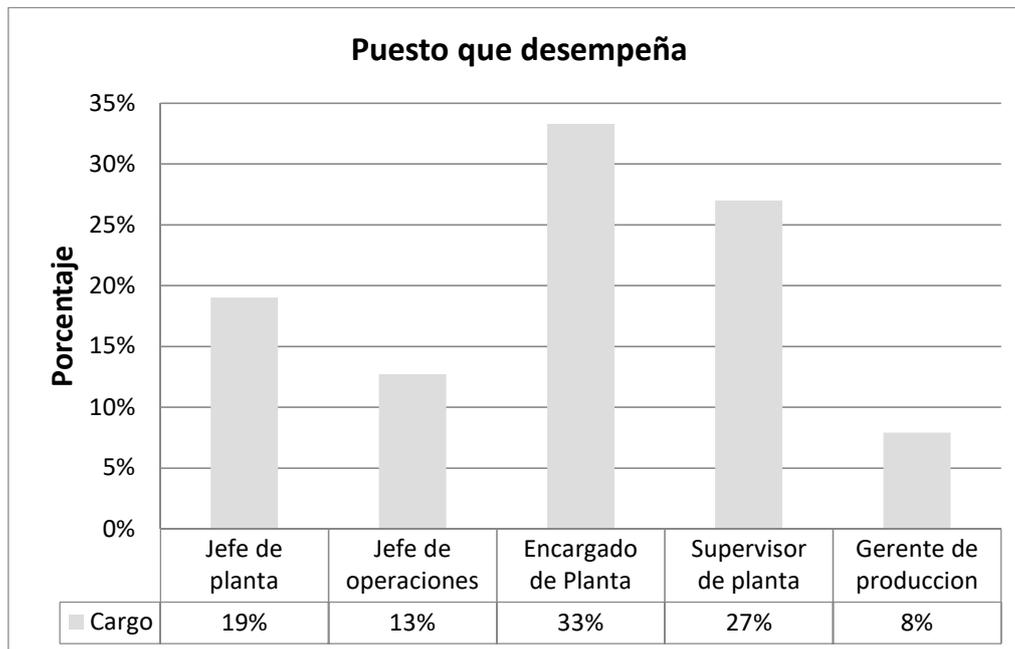
**Fuente:** Elaboración propia.

### Puesto que desempeña.

Con respecto al puesto que desempeñan los encuestados. Un 19.0% son Jefe de planta, 12.7% son Jefe de operaciones, 33.3% Encargado de planta, 27.0% Supervisor de planta y un 7.9% corresponden a Gerente de producción.

		Puesto que desempeña			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Jefe de planta	12	19,0%	19,0%	19,0%
	Jefe de Operaciones	8	12,7%	12,7%	31,7%
	Encargado de Planta	21	33,3%	33,3%	65,1%
	Supervisor de planta	17	27,0%	27,0%	92,1%
	Gerente de Producción	5	7,9%	7,9%	100,0%
	Total	63	100,0%	100,0%	

**Tabla 8** Dispersión de respuesta de puesto que desempeña.  
Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 3** Puesto que desempeña.  
Fuente: Elaboración propia.

### Localidad, Región de Chile.

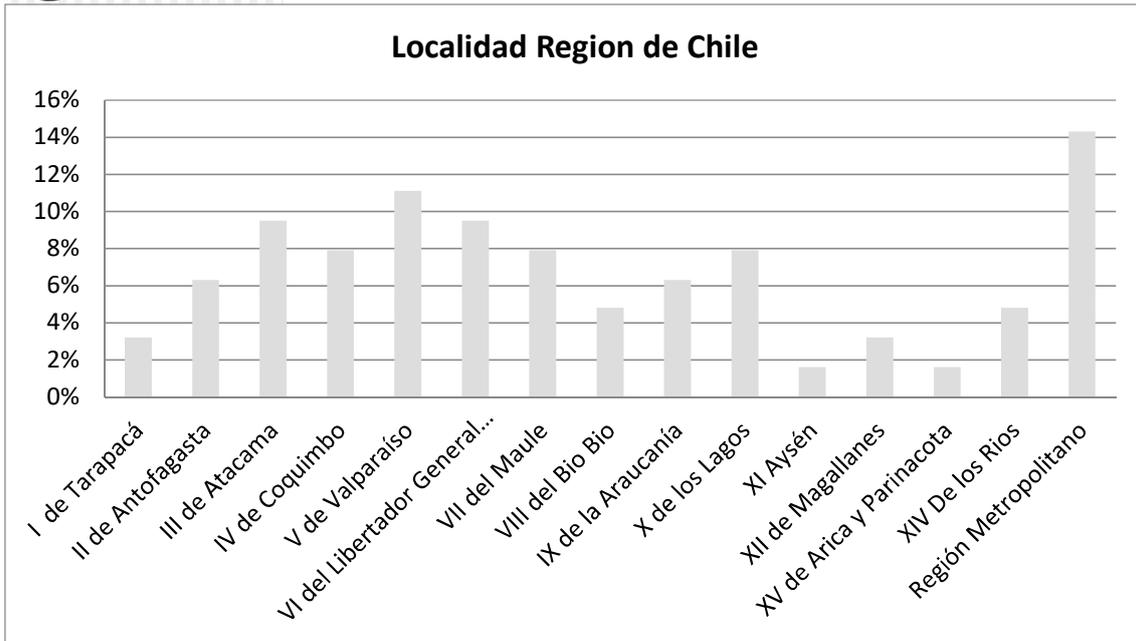
Con respecto a la región en donde se ubica las plantas en Chile, el mayor valor corresponde a la región metropolitana con un 14.3% con 9 encuestados, en esta región se encuentra la capital de Chile, Santiago. Siguen la V región de Valparaíso con un 11.1%, posterior siguen las regiones III de Atacama y VI Del Libertador Bernardo O'higgins con un 9.5%, después siguen las regiones IV Coquimbo, VII Maule y X de los Lagos con un 7.9% con 5 encuestados por región. Con un 6.3% siguen las regiones II Antofagasta y IX Araucanía. Las regiones de XIV De los Ríos y VII Bio Bio con un 4,8%. Las regiones I Tarapacá y XII Magallanes con un 3.2% y por ultimo tenemos las regiones extremas de XV Arica y Parinacota y XI Aysén con un 1,6%.

**Localidad Región de Chile.**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido XV Arica y Parinacota	1	1,6%	1,6%	1,6%
I Tarapaca	2	3,2%	3,2%	4,8%
II Antofagasta	4	6,3%	6,3%	11,1%
III Atacama	6	9,5%	9,5%	20,6%
IV Coquimbo	5	7,9%	7,9%	28,6%
V Valparaiso	7	11,1%	11,1%	39,7%
VI Libertador General Bernardo O'higgin	6	9,5%	9,5%	49,2%
VII Maule	5	7,9%	7,9%	57,1%
VIII Bio Bio	3	4,8%	4,8%	61,9%
IX Araucania	4	6,3%	6,3%	68,3%
XIV De los Rios	3	4,8%	4,8%	73,0%
X De los Lagos	5	7,9%	7,9%	81,0%
XI Aysen	1	1,6%	1,6%	82,5%
XII Magallanes	2	3,2%	3,2%	85,7%
Región Metropolitana	9	14,3%	14,3%	100,0%
Total	63	100,0%	100,0%	

**Tabla 9** Dispersión de respuesta de Localidad Región de Chile.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Grafico 4** Regiones de Chile Localidad.  
Fuente: Elaboración propia.

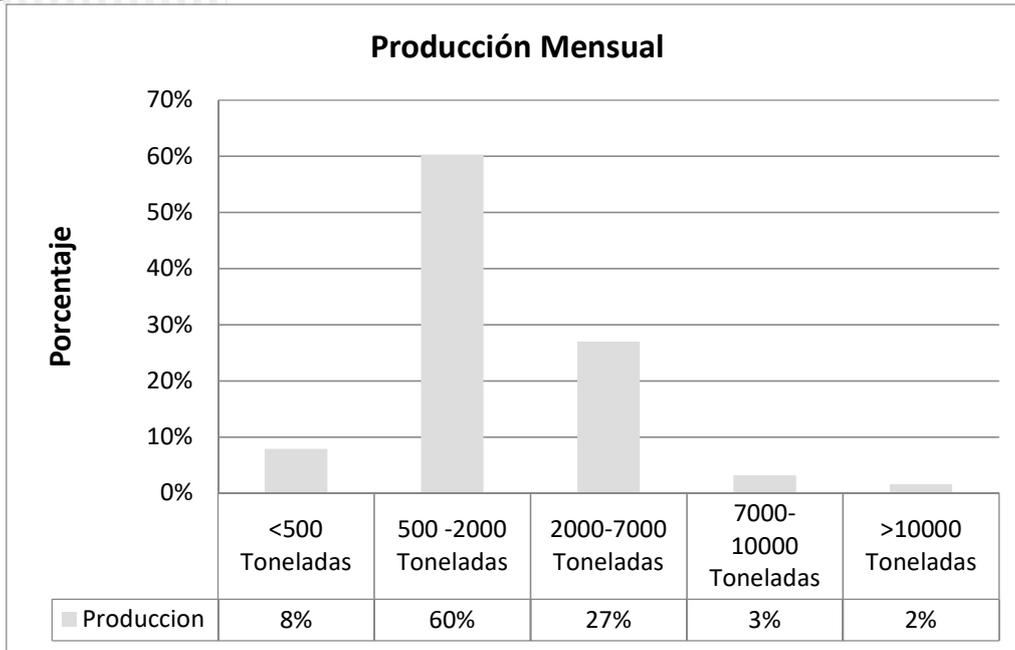
### Producción.

Con respecto a la producción mensual de mezcla asfáltica realizada a los encuestados, un 1,6% producen más de 10.000 toneladas de mezcla asfáltica mensual, un 3,2% producen entre 7.000 – 10.000 toneladas al mes, un 27,4% producen entre 2.000 – 7.000 toneladas mensuales, la mayor producción mensual la obtiene el rango de 500 – 2.000 toneladas con un 61,3%, por último se tiene las plantas que producen menos de 500 toneladas de mezcla asfáltica mensuales con un 8,1%.

#### Producción Mensual

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido <500 Toneladas	5	7,9%	7,9%	7,9%
500-2000 Toneladas	38	60,3%	60,3%	68,3%
2000-7000 Toneladas	17	27,0%	27,0%	95,2%
7000-10000 Toneladas	2	3,2%	3,2%	98,4%
>10000 Toneladas	1	1,6%	1,6%	100,0%
Total	63	100,0%	100,0%	

**Tabla 10** Dispersión de Producción mensual de mezcla asfáltica.  
Fuente: Elaboración propia.



**Grafico 5** Producción de Mezcla Asfáltica mensual.  
Fuente: Elaboración propia.

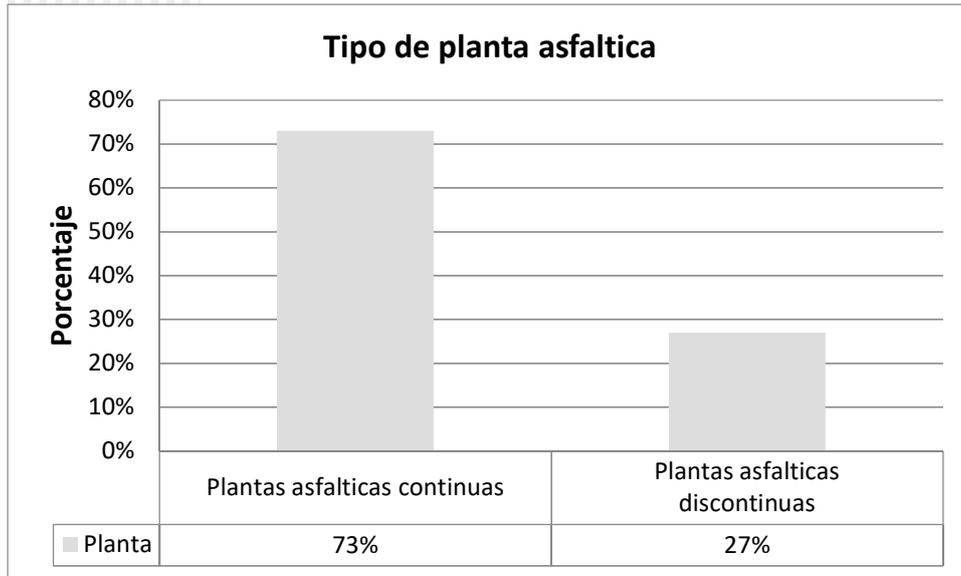
### Tipo de Planta asfáltica.

El tipo de plantas asfálticas más utilizado entre los encuestados en Chile son las del tipo Continua con un 73.8% y solo un 26.2% ocupan plantas asfálticas del tipo Discontinua.

**Tipo Planta Asfáltica**

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Planta asfáltica Continua	46	73,0%	73,0%	73,0%
	Planta asfáltica Discontinua	17	27,0%	27,0%	100,0%
	Total	63	100,0%	100,0%	

**Tabla 11** Dispersión de tipos de plantas asfáltica.  
Fuente: Elaboración propia.



**Grafico 6** Tipos de plantas de Mezcla Asfáltica.  
**Fuente:** Elaboración propia.

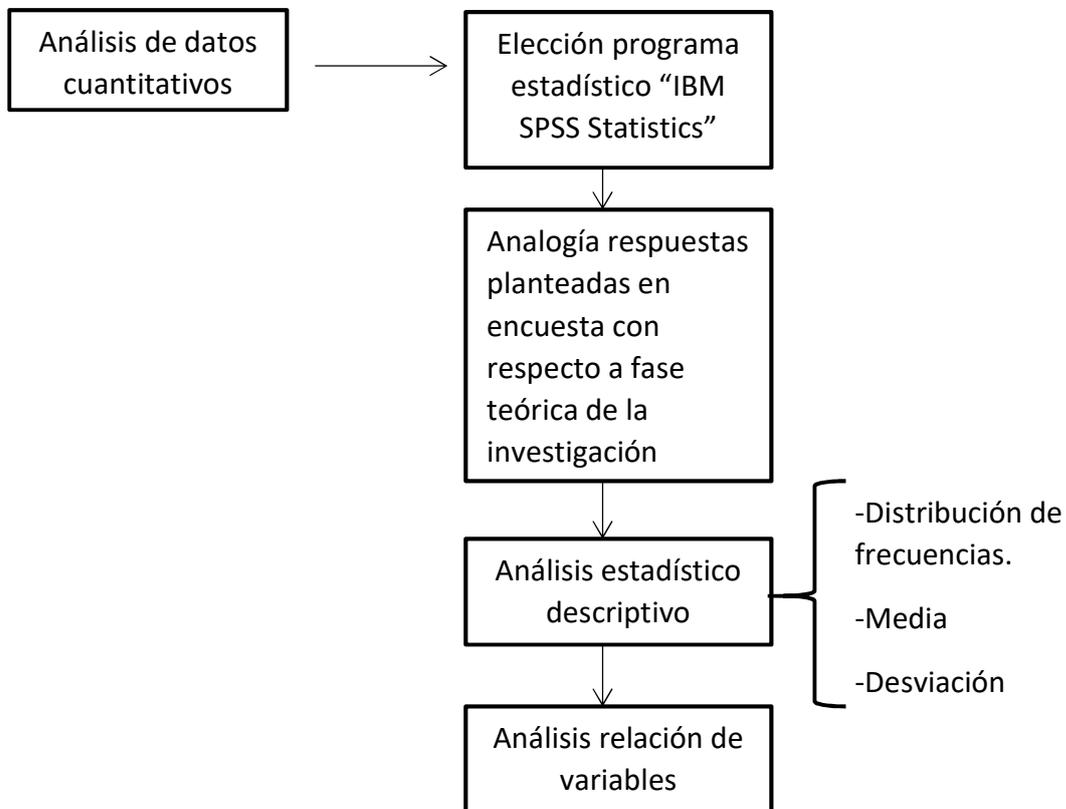
### 3.3.4 Limitaciones de la encuesta.

Se recibieron 63 respuestas de encuestas todas validadas, las limitaciones de la encuesta se debieron a la poca participación de las empresas de producción de mezcla asfálticas chilenas en la cual hacían referencia a que no querían participar, se llamó telefónicamente a diversas empresas a lo largo de todo Chile, no se pudo conseguir una homogeneidad de empresas encuestadas por región así que se consideró la muestra a nivel nacional.

### 3.4 Procedimientos de análisis de datos.

El procedimiento del análisis de datos cuantitativos de los resultados obtenidos, se realizó a través del programa IBM SPSS Statistics. El proceso comenzó con un análisis de las respuestas planteadas que se obtuvieron de la fase teórica y búsqueda de la información, se muestra las respuestas cerradas múltiples que consideran la producción de mezcla asfáltica una producción de Economía Circular. Posteriormente se realizó un análisis descriptivo de cada variable realizada en la investigación.

Por último a través de técnicas estadísticas multivariantes se prosiguió a encontrar relaciones importantes entre los constructos a través de regresión lineal, para demostrar la mejor relación causa efecto que explique la investigación.



**Ilustración 4** Análisis de resultados.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.1 Estructuras de encuesta y análisis de respuesta cerradas con multivariable.

La encuesta realizada en esta investigación es de carácter cerrado con respuesta multivariables. Las preguntas realizadas en la encuesta fueron confeccionadas de acuerdo a las condiciones de implementación o consideraciones técnicas para contemplar una producción de ciclo cerrado de Economía Circular. Las condiciones o principios de implementación son los siguientes, los cuales representan los constructos de la encuesta (Cerde, E. y Khalilova, A. 2016):

- Incrementar y conservar los recursos.
- Optimización de los Recursos naturales.
- Promover la producción cíclica.

Para llevar a cabo cada uno de los principios es necesario considerar variables de acción en cada producción, cada variable se ajusta a cada uno de los constructos de la siguiente forma:

#### Principios y variables de la Economía Circular.

Principios de implementación de la Economía Circular	Acciones o variables
Incrementar y conservar los recursos	Reducción y minimización de materias primas.
	Disminución de los desechos y residuos.
Optimización de los recursos naturales	Equilibrio eficiente de energía.
	Reducción de emisiones contaminantes.
Promover la producción cíclica	Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico.

**Tabla 12** Principios y variables de la Economía Circular.

**Fuente:** Cerda, Emilio. Khalilova, Aygun. (Año: 2016), Economía Circular, Revista Estrategia y Competitividad Empresarial.

La encuesta se desarrolló con cinco hitos. Dentro de estos cinco hitos se encuentran los principios de implementación de la Economía Circular. En primer lugar tenemos Conceptos generales los cuales se consultan con dos preguntas (preguntas EC\_01 y EC\_02), seguido por el principio de incrementación y conservación de los recursos el cual se desarrolla en seis preguntas en donde se desarrollan las variables de “Reducción de las materias” y “Disminución de los desechos” (preguntas EC\_03, EC\_04, EC\_05, EC\_06, EC\_07, EC\_08). El tercer hito corresponde al principio de implementación de “Optimización de los recursos naturales”, el cual se desarrolla en seis preguntas que abarcan las variables de “Equilibrio eficiente de energía” y “Reducción de emisiones contaminantes” (preguntas EC\_09, EC\_10, EC\_11, EC\_12, EC\_13, EC\_14). El cuarto hito que se desarrolla es el de “Promover la producción cíclica” con cuatro preguntas a su disposición, abarcando la variable de “Mantener coste y valor de producto incentivando el valor añadido ecológico” (preguntas EC\_15, EC\_16, EC\_17, EC\_18). El último hito que tenemos son las “Barreras de implementación de la Economía Circular” con una pregunta (pregunta EC\_19).

Cada pregunta se desarrolló para abarcar las variables de implementación de la Economía Circular, las respuestas de carácter cerrado se impusieron de acuerdo a la información obtenida del marco teórico y búsqueda bibliográfica, de las diferentes técnicas de producción que satisficieran las variables.

Las respuestas fueron analizadas con respecto a la búsqueda bibliográfica. Cada pregunta consta de cuatro alternativas de respuestas las cuales representan y deslumbran si la producción de mezcla asfáltica en Chile se puede considerar como una Economía Circular.

Por esta razón la encuesta es de carácter cerrado por las ventajas que posee este método hacia el encuestador. Las respuestas son fáciles de codificar y preparar su análisis y no requieren de una síntesis por parte del encuestador el cual se dirige automáticamente a la respuesta que sabe. Las respuestas expuestas son multivariables las cuales fueron justificadas en el marco teórico de esta investigación.

A continuación se mostrará la encuesta realizada con sus respectivas preguntas y sus respectivas respuestas multivariables las cuales se clasificaron de acuerdo a un **“VERDADERO”** en el caso que la respuesta se considera como una implementación de la Economía Circular y un **“FALSO”** cuando la respuesta no corresponde a la implementación de la Economía Circular.

1. EC\_01 ¿Conoce usted el concepto de Economía Circular?

Respuestas EC\_01

- |                                                           |                  |
|-----------------------------------------------------------|------------------|
| a) Si, solo lo he leído en los medios de comunicación     | <b>VERDADERO</b> |
| b) Si, lo tratamos de implementar en nuestra organización | <b>VERDADERO</b> |
| c) Si, a través de programas de gobiernos                 | <b>VERDADERO</b> |
| d) No, nunca lo he escuchado                              | <b>FALSO</b>     |

2. EC\_02 ¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?

Respuestas EC\_02

- |                                                                                                              |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| a) Decreto supremo 745 Condiciones Sanitarias y medio ambientales básica del trabajo.                        | <b>FALSO</b>     |
| b) Ley 20,879 del año 2015 del gobierno de Chile. Sanciones de transporte de residuos                        | <b>FALSO</b>     |
| c) Ley 20,920 del año 2016 del gobierno de Chile. Ley de reciclaje y responsabilidad extendida del productor | <b>VERDADERO</b> |
| d) Normas Ambientales ISO 14000                                                                              | <b>VERDADERO</b> |

3. EC\_03 En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?

Respuestas EC\_03

- |                                                        |                  |                                              |
|--------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| a) Reutilización del residuo de mezcla asfáltica (RAP) | <b>VERDADERO</b> | Variable<br>Reducción<br>de materia<br>prima |
| b) Utilización de desechos de construcción             | <b>VERDADERO</b> |                                              |
| c) Utilización de desechos de caucho o plástico        | <b>VERDADERO</b> |                                              |
| d) No se realiza ningún método                         | <b>FALSO</b>     |                                              |

4. EC\_04 ¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?

Respuestas EC\_04

- |                                             |                  |                                              |
|---------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|
| a) Necesidades de Costo en materias primas  | <b>FALSO</b>     | Variable<br>Reducción<br>de materia<br>prima |
| b) Necesidades medio ambientales            | <b>VERDADERO</b> |                                              |
| c) Necesidades de escasez de materia primas | <b>VERDADERO</b> |                                              |
| d) No se necesita reducir                   | <b>FALSO</b>     |                                              |

5. EC\_05 En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?

Respuestas EC\_05

- |                                               |                  |                                        |
|-----------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| a) Si, se gestiona internamente en la empresa | <b>VERDADERO</b> | Variable<br>Disminución<br>de residuos |
| b) Si, se subcontrata la gestión de residuos  | <b>VERDADERO</b> |                                        |
| c) No, en ningún caso                         | <b>FALSO</b>     |                                        |
| d) Solo si el cliente lo requiere             | <b>FALSO</b>     |                                        |

6. EC\_06 En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?

Respuestas EC\_06

Variable

- a) Reutilización RAP, Incorporando el residuo asfáltico en la propia producción de mezcla asfáltica **VERDADERO**
- b) Reciclaje RAP, Incorporando el residuo asfáltico en una producción distinta a la mezcla asfáltica **VERDADERO** Disminución de residuos
- c) Reutilización y reciclaje del RAP **VERDADERO**
- d) No se utiliza el residuo de mezcla asfáltica. **FALSO**
7. EC\_07 En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?
- Respuestas EC\_07 Variable
- a) 10%-20% **VERDADERO**
- b) 20%-30% **VERDADERO**
- c) 30%-40% **VERDADERO** Disminución de residuos
- d) <50% **VERDADERO**
- e) No responde **FALSO**
8. EC\_08 ¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?
- Respuestas EC\_08 Variable
- a) Regularizaciones legales (Normas y leyes) **VERDADERO**
- b) Reducción de costo de producción **VERDADERO** Disminución de residuos
- c) Disminución de demanda de materias primas **VERDADERO**
- d) No existen necesidades **FALSO**
9. EC\_09 ¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica?
- Respuestas EC\_09 Variable
- a) Si, A través de combustibles ecológicos **VERDADERO**
- b) Si, A través de producción de mezclas asfálticas tibias **VERDADERO** Equilibrio energético
- c) Solo si el cliente lo solicita **FALSO**
- d) No, en ningún caso. **FALSO**
10. EC\_10 En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?
- Respuestas EC\_10 Variable
- a) Mezclas asfálticas tibias con modificación de aditivos orgánicos **VERDADERO**
- b) Mezclas asfálticas tibias con modificación de aditivos químicos **VERDADERO** Equilibrio energético
- c) Asfalto espumado **VERDADERO**
- d) Solo se realizan mezcla asfáltica convencionales **FALSO**
11. EC\_11 ¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?
- Respuestas EC\_11 Variable
- a) Menor a un 10% de la producción de mezcla asfáltica en caliente **VERDADERO** Equilibrio energético

- b) Entre un 10% a 30% de la producción de mezcla asfáltica en caliente **VERDADERO**
- c) Entre un 30% a 50% de la producción de mezcla asfáltica en caliente **VERDADERO**
- d) No realizamos este tipo de mezclas asfálticas **FALSO**
12. EC\_12 En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?
- Respuestas EC\_12
- a) Si, a través de gestiones de materias primas previas **VERDADERO** Variable
- b) Si, a través de la distribución de materiales de producción **VERDADERO**
- c) Si, a través de la presión de secado y el secado de los agregados pétreos **VERDADERO** Emisiones Contaminantes
- d) No se realizan acciones para reducir las emisiones contaminantes. **FALSO**
13. EC\_13 ¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?
- Respuestas EC\_13
- a) Tipo solido Carbón **FALSO** Variable
- b) Tipo liquido diesel **FALSO** Emisiones
- c) Tipo liquido Biodiesel **VERDADERO** Contaminantes
- d) Tipo gaseoso Gas natural **VERDADERO**
14. EC\_14 ¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes?
- Respuestas EC\_14
- a) Si, a través de nuevos procesos de producción (mezclas tibias) **VERDADERO** Variable
- b) Si, a través de nuevos combustibles **VERDADERO** Emisiones
- c) Si, a través de una gestión de residuos y materias primas. **VERDADERO** Contaminantes
- d) No en ningún caso **FALSO**
15. EC\_15 La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente?
- Respuestas EC\_15
- a) Variación de los costó de materias primas **VERDADERO** Variable
- b) Elevados costos de combustibles **VERDADERO** Mantener
- c) Elevados costos de mano de obra **FALSO** costes
- d) no posee grandes variaciones **FALSO**

16. EC\_16 ¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?

Respuestas EC\_16

Variable

- |                                                                             |                  |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|
| a) Generar una mayor cantidad de toneladas a un menor costo de producción   | <b>FALSO</b>     |                    |
| b) Generar un valor añadido en la producción de mezcla asfáltica            | <b>VERDADERO</b> | Valor del producto |
| c) Cubrir las necesidades del cliente                                       | <b>FALSO</b>     | producto           |
| d) Generar una mayor cantidad de toneladas con un resguardo medio ambiental | <b>VERDADERO</b> |                    |

17. EC\_17 Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?

Respuestas EC\_17

Variable

- |                                                                                     |                  |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|
| a) Reutilización de desecho asfáltico RAP                                           | <b>VERDADERO</b> |               |
| b) Reciclado de desecho asfáltico RAP                                               | <b>VERDADERO</b> | Valor añadido |
| c) Utilización de desechos de otras industrias en la producción de mezcla asfáltica | <b>VERDADERO</b> | añadido       |
| d) Producción de mezclas asfálticas tibias                                          | <b>VERDADERO</b> |               |

18. EC\_18 ¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?

Respuestas EC\_18

Variable

- |                                               |                  |               |
|-----------------------------------------------|------------------|---------------|
| a) Si, existe una conciencia ecológica        | <b>VERDADERO</b> |               |
| b) Si, por medios de normas medio ambientales | <b>VERDADERO</b> | Valor añadido |
| c) Si, para abaratar costos de producción     | <b>FALSO</b>     | añadido       |
| d) No, en ningún caso                         | <b>FALSO</b>     |               |

19. EC\_19 ¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?

Respuestas EC_19		Variable
a) Por el transporte de los residuos (Dispersión Geográfica)	<b>VERDADERO</b>	
b) No saber el ciclo de vida de la mezcla asfáltica para obtener el residuo (Clasificación de la cadena de suministros)	<b>VERDADERO</b>	
c) Gestión del residuo RAP (Fugas provocadas por el incremento de materiales)	<b>VERDADERO</b>	Barreras
d) No innovar y seguir en proceso de producción lineal en el cual no se considera la gestión de residuos	<b>VERDADERO</b>	

### 3.4.2 Análisis descriptivo

A través del análisis se describen los datos obtenidos en la encuesta. Los datos que se obtuvieron son de características nominales ya que cada respuesta corresponde con una categoría de la variable en cuestión. Como las respuestas están justificadas previamente en la fase teórica de investigación en ningún caso pueden ser ordenadas en ningún sentido, cada respuesta es independiente entre si y justifica una variable con respecto a la implementación de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Al tener datos de carácter nominal no tiene sentido calcular medias, medianas. Los estadísticos habituales de análisis para datos nominales son frecuencias, porcentajes y moda. (Hernández, L. R. 2012).

### Frecuencia y Moda del análisis de datos.

Preguntas	Frecuencia				Moda
	A)	B)	C)	D)	
EC_01 ¿Conoce usted el concepto de Economía Circular?	20	5	3	35	c)
EC_02 ¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?	13	29	10	11	b)
EC_03 En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?	46	1	5	11	a)
EC_04 ¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?	36	3	16	8	a)
EC_05 En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?	44	5	8	6	a)
EC_06 En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?	25	4	22	12	a)
EC_07 En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?	40	11	0	4	a)
EC_08 ¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?	4	41	9	9	b)
EC_09 ¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica?	15	2	27	19	c)
EC_10 En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?	4	0	2	57	d)
EC_11 ¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?	4	2	0	57	d)

Preguntas		A)	B)	C)	D)	Moda
EC_12	En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?	35	3	7	18	a)
EC_13	¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?	1	49	4	9	b)
EC_14	¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes?	4	7	38	14	c)
EC_15	La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente?	41	15	1	6	a)
EC_16	¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?	13	12	35	3	c)
EC_17	Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?	50	6	4	3	a)
EC_18	¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?	3	20	9	31	d)
EC_19	¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?	7	20	19	17	b)

**Tabla 13** Frecuencia y Moda

**Fuente:** Elaboración propia.

**Respuestas Verdaderas (Principios de Economía Circular)**

**Respuestas Falsas (No corresponden a principios de la Economía Circular)**

### Porcentaje del análisis de datos.

		Porcentaje					
Preguntas		A)	B)	C)	D)	% Resp. Verd	% Resp. Falsa
EC_01	¿Conoce usted el concepto de Economía Circular?	31,7%	7,9%	4,8%	55,6%	44%	56%
EC_02	¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?	20,6%	46,0%	15,9%	17,5%	33%	67%
EC_03	En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?	73,0%	1,6%	7,9%	17,5%	83%	18%
EC_04	¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?	57,1%	4,8%	25,4%	12,7%	30%	70%
EC_05	En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?	69,8%	7,9%	12,7%	9,5%	78%	22%
EC_06	En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?	39,7%	6,3%	34,9%	19,0%	81%	19%
EC_07	En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?	63,5%	17,5%	0,0%	6,3%	87%	13%
EC_08	¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?	6,3%	65,1%	14,3%	14,3%	86%	14%
EC_09	¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica?	23,8%	3,2%	42,9%	30,2%	27%	73%
EC_10	En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?	6,3%	0,0%	3,2%	90,5%	10%	91%
EC_11	¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?	7,9%	3,2%	3,2%	85,7%	14%	86%

Preguntas		A)	B)	C)	D)	% Resp. Verd	% Resp. Falsa
EC_12	En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?	55,6%	4,8%	11,1%	28,6%	72,0%	28,0%
EC_13	¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?	1,6%	77,8%	6,3%	14,3%	21,0%	79,0%
EC_14	¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes?	6,3%	11,1%	60,3%	22,2%	78,0%	22,0%
EC_15	La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente?	65,1%	23,8%	1,6%	9,5%	89,0%	11,0%
EC_16	¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?	20,6%	19,0%	55,6%	4,8%	24,0%	76,0%
EC_17	Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?	79,4%	9,5%	6,3%	4,8%	14,0%	86,0%
EC_18	¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?	4,8%	31,7%	14,3%	49,2%	37,0%	63,0%
EC_19	¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?	11,1%	31,7%	30,2%	27,0%	43,0%	57,0%

**Tabla 14** Porcentaje de respuestas.

Fuente: Elaboración propia

**Respuestas Verdaderas (Principios de Economía Circular)**

**Respuestas Falsas (No corresponden a principios de la Economía Circular)**

El análisis descriptivos lo realizaremos según los ítem de la encuestas. En primer lugar tenemos el ítem de Concepto general de Economía Circular que abarca las preguntas EC\_01 Y EC\_02. En estas preguntas el concepto general de Economía Circular las personas no poseen un conocimiento claro del concepto.

### **Encuesta Concepto General**

La pregunta EC\_01 “¿conoce usted el concepto de Economía Circular? Solo un 44,4% de los encuestados conoce el concepto. De este 44,4%, un 31,7% solo conoce el termino por medios de comunicación y solo un 7,9% lo intenta implementar en su empresa. En cambio un 55,6% nunca ha escuchado el concepto. La desviación estándar obtenida en esta pregunta es del 1.382.

La pregunta EC\_02 “¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?” En esta pregunta un 66,6% no conoce las normas que incentivan una implementación de la Economía Circular, solo un 33,4% conoce la normas de implementación e incentivo a la Economía Circular. La desviación estándar en esta pregunta es de un 0.988. Menor que la pregunta EC\_01.

A través de un análisis descriptivo podríamos decir que un 55,6% de los encuestados no conoce el concepto de la Economía Circular y un 66,6% no reconoce las normas vigentes chilenas de incentivo a la producción de una Economía Circular.

### **Incrementar y conservar los recursos.**

El segundo ítem de la encuesta es de un constructo de implementación de la Economía Circular “Incrementar y conservar los recursos” en el cual están presentes las variables de “disminución de materias primas” y “reducción de residuos”. En el desarrollo de este ítem se conjugaron las preguntas EC\_03, EC\_04, EC\_05, EC\_06, EC\_07, EC\_08. Las cuales arrojaron las siguientes respuestas:

La pregunta EC\_03 “En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?” Que analiza la variable de “Reducción de materias primas”. Tenemos como respuesta que un 73% de los encuestados realiza una reutilización del residuo RAP y solo un 17,5% no realiza ninguna práctica de reducción de materias primas. (Desviación estándar: 1,2).

En el caso de la pregunta EC\_04 “¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?”. La repuesta que dio un mayor porcentaje fue la respuesta a) Necesidades de costo de materias primas, con un 57,1%. Y con un 25,4% por necesidades de reducción de materias primas. (Desviación estándar: 1,162). Con estas respuestas podemos afirmar que las necesidades de reutilización se realizan por una necesidad de coste y no de una necesidad medio ambiental.

La pregunta EC\_05 “En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?”. Un 69,8% afirma que realiza una gestión de los residuos de producción internamente en la empresa y un 7,9% subcontrata la gestión de residuos. Solo un 22,2%

de los encuestados no realiza una gestión de los residuos de producción de mezcla asfáltica.

Con respecto a cómo se realiza esta gestión de los residuos asfáltico se consulta la pregunta EC\_06 “En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?” Un 39,7% de los encuestados afirma que gestiona sus residuos con la reutilización del RAP en su producción. Un 34,9% Recicla el material de residuo incorporándolo en otra producción distinta a la mezcla asfáltica. Solo un 19% no realiza ninguna gestión del residuo asfáltico.

En cuanto al porcentaje de reutilización del residuo en la producción de mezcla asfáltica, se consulta en la pregunta EC\_07 “En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?” Un 63,5% de los encuestados reutiliza entre un diez por ciento a un veinte por ciento de residuo en la producción de mezcla asfáltica. Solo un 13% no contesta la pregunta corresponde a los encuestados que no realizan una gestión de residuos.

La pregunta EC\_08 “¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?” Según la respuesta de los encuestados la principal necesidad de disminución de los residuos es la reducción de los costos de producción con un 65,1% de los encuestados y solo un 14,3% plantea que no existe una necesidad de reducción.

Para el ítem de “Incrementar y conservar los recursos” según los encuestados realizan una gestión de disminución de residuos a través de la reutilización de los residuos asfálticos con 69,3%, con esta acción disminuyen la utilización de materias primas y disminuyen la producción de residuos de la industria. La principal necesidad con que realizan estas acciones de reutilización son de reducción de costo de producción con un 65,1% y no necesidades medio ambientales.

### **Optimización de los recursos naturales.**

El tercer ítem de la encuesta es de un constructo de implementación de la Economía Circular “Optimización de los recursos naturales” en el cual están presentes las variables de “equilibrio eficiente de energía y “reducción de emisiones contaminantes”. En el desarrollo de este ítem se conjugaron las preguntas EC\_09, EC\_10, EC\_11, EC\_12, EC\_13, EC\_14. Las cuales arrojaron las siguientes respuestas:

En la producción de mezcla asfáltica existe un gran consumo energético, pero diversas investigaciones aseguran que el equilibrio energético de producción se equilibra utilizando combustibles ecológicos o una producción y fabricación de mezclas asfálticas tibias. La pregunta EC\_09 “¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica? Hace referencia a la variable de equilibrio energético. La cual arroja que solo utilizan un equilibrio energético solo si el cliente lo solicita con un 42,9%. Un 30,2% en ningún caso realiza un equilibrio energético. Solo un 23,8% realiza un equilibrio energético a través de la utilización de combustibles ecológicos y solo un 3,2% realiza fabricación de mezclas asfálticas tibias.

Con respecto a la producción y fabricación de mezcla asfáltica tibia como una de las alternativas de equilibrio energética. Surgen las preguntas EC\_10 “En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?” Y EC\_11 “¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?”. Un 90,5% de los encuestados no fabrica las mezclas asfálticas tibias. Solo un 6,3% fabrica mezclas asfálticas tibias con modificación de aditivos orgánicos y solo un 3,2% asfaltos espumados. De los fabricantes de mezcla asfáltica tibia un 7,9% realiza un diez por ciento de producción de mezcla tibia del total de mezcla producida.

La pregunta EC\_12 “En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?” Un 55,6% de los encuestados asegura que realiza acciones para disminuir las emisiones contaminantes a través de gestiones de materias primas previas y solo 28,6% no realiza acciones para reducir emisiones contaminantes.

Otro punto de fuga que rompe con el equilibrio energético y la producción de emisiones contaminantes es la utilización de combustibles en las plantas de asfalto. Investigadores sugieren la utilización de gas natural o combustibles líquidos biodiesel. Estas condiciones se consultan en la pregunta EC\_13 “¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?”. La cual arroja que un 77,8% utiliza combustible líquido diesel, seguido por un 14,3% que utiliza gas natural y posteriormente 6,3% de biodiesel y por ultimo un 1,6% de carbón.

La pregunta EC\_14 “¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes? Un 60,3% reafirma que si realiza una innovación tecnológica en producción de mezcla asfáltica a través de la gestión de residuos y materias primas. En el cual se observó en el ítem número dos de “Incrementar y conservar los recursos” en el cual se concluía que se realizaba una gestión del residuo asfáltico. Solo un 22,2% afirma que no posee ninguna innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica.

Para el ítem de “Optimización de los recursos naturales” según los encuestados no se realizan acciones para el equilibrio energético, una de las principales acciones a tomar en cuenta para llevar a cabo esta implementación es la fabricación de mezclas asfálticas más eficiente energéticamente, solo un 10% de los encuestados realiza este tipo de mezclas pero no superar el veinte por ciento de la producción total de mezcla asfáltica convencional.

Por otro lado la variable de reducción de emisiones contaminantes está ligada a un uso eficiente de combustibles. De los encuestados un 77,8% utiliza diesel, producto que no ayuda a disminuir las emisiones contaminantes, solo un 21% utiliza combustibles aceptados para disminuir las emisiones contaminantes que son el Biodiesel del tipo líquido y el gas natural de origen gaseoso.

### **Promover la producción cíclica.**

El cuarto ítem de la encuesta es de un constructo de implementación de la Economía Circular “Promover la producción cíclica” en el cual está presente la variable de “mantener coste y valor añadido ecológico”. En el desarrollo de este ítem se conjugaron las preguntas EC\_15, EC\_16, EC\_17, EC\_18. Las cuales arrojaron las siguientes respuestas:

La pregunta EC\_15 “La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente? Un 65,1% cree que las variaciones de costo de la mezcla asfáltica se deben a las variaciones de coste de materias primas debido a la escasez de estos. Seguido por los elevados precios de combustibles que nacen de la misma producción del cemento asfáltico con un 23,8%.

La pregunta EC\_16 “¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?” de los encuestados un 55,6% su principal objetivo es cubrir las necesidades del cliente, seguido con un 20,6% producir una mayor cantidad de toneladas a un menor costo de producción. Estas respuestas no que obtuvieron la mayoría no corresponden a un objetivo de una Economía Circular.

La pregunta EC\_17 “Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?” Con un 79,4% cree que el valor agregado en su producción es la reutilización del desecho RAP. Seguido por el reciclaje de desecho RAP con un 9,5%. Valores agregados de producción que implementa la Economía Circular.

La pregunta EC\_18 “¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?” Con un 31,7% los encuestados reconocen que existe un incentivo en la sostenibilidad por parte del gobierno de Chile a través de Normas medio ambientales. Pero con un 63,5% los encuestados no reconocen incentivos de sostenibilidad por parte del gobierno.

Para el ítem de “Promover la producción cíclica” según los encuestados el valor agregado como un Economía Circular, toma un gran relevancia ya que un 95% posee las característica de implementación de Economía Circular. Pero surge una ambigüedad que plantea que los objetivos que tienen como organización un 76,2% no contemplan la implementación de una Economía Circular. Por otro lado los encuestados con un 63,5% no reconocen un incentivo de sostenibilidad por parte del gobierno de Chile.

### **Barreras de implementación de la Economía Circular.**

El quinto ítem de la encuesta es de las “Barreras de implementación de la Economía Circular” en el cual se plantean los obstáculos de implementación de la Economía Circular. Está constituido por una pregunta la cual arrojó los siguientes resultados:

La pregunta EC\_19 “¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?” De los encuestados un 30,2% cree que la barrera se provoca por fugas provocadas por el material de residuo RAP, porque no se gestione de

buena manera. La segunda respuesta que sigue con un 31% es no saber el ciclo de vida de la mezcla asfáltica. En tercer lugar con un 27% es no innovar y seguir en un proceso de producción lineal en el cual no se gestionan los recursos. Por último tenemos 11,1% es la barrera de transporte de residuos provocado por una dispersión geográfica.

### 3.4.3 Análisis de relación de variables.

Para llevar a cabo un análisis de relación de variables con respecto a la encuesta realizada es necesario transformar las respuestas multivariadas. El método de transformación que se utiliza es cambiar las multivariadas cualitativas por variables del tipo dicotómicas. Las cuales se reducen a una aseveración de **“VERDADERO”** en el caso que la respuesta multivariadas corresponda a una condición de implementación de Economía Circular y en el caso que la respuesta no corresponda con la implementación de un sistema de Economía Circular se interpretara con un **“FALSO”**. La forma de interpretación en el Programa IBM SPSS Statistics es la siguiente: respuestas **“VERDADERO”**: 01; respuestas **“FALSA”**: 00

Con este método y bajo el fundamento de la investigación teórica en cada respuesta se realiza la transformación de las respuestas multivariadas en respuestas dicotómicas. Para la realización de un análisis paramétrico.

### 3.4.4 Relaciones de variables cualitativas. Método Chi – cuadrados.

#### Relación de Localidad con Reducción de materias primas.

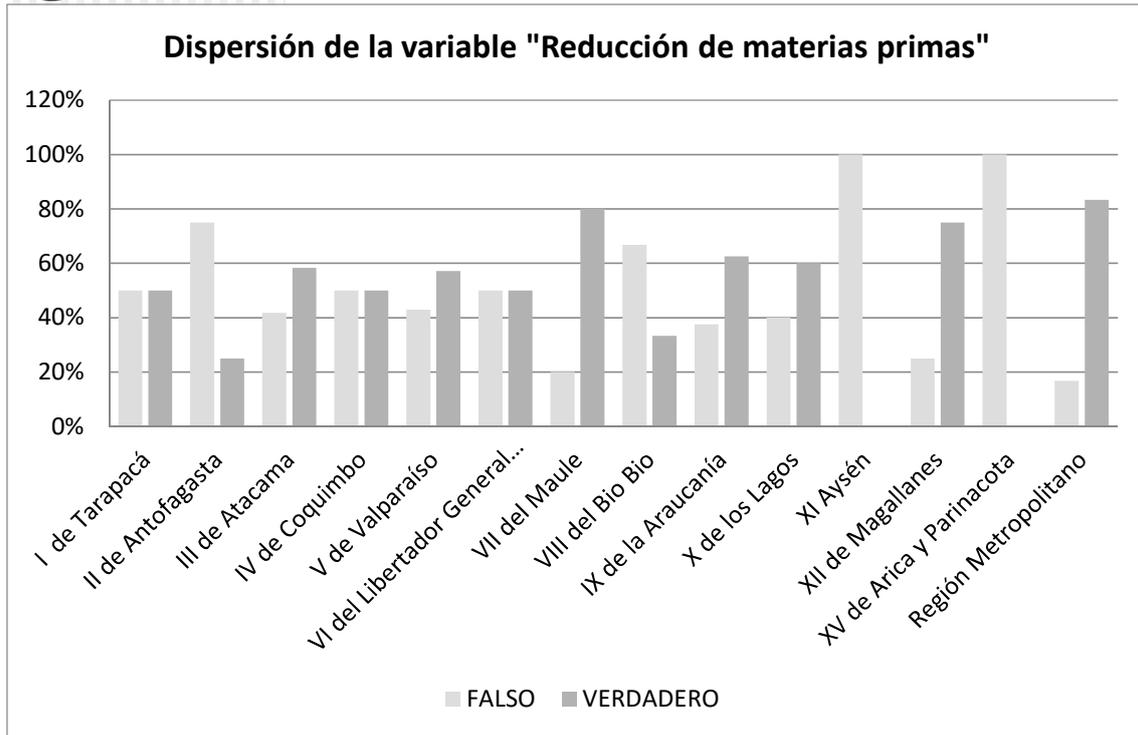
Las preguntas que exponen la variable de “Reducción de materias primas” corresponden a las Preguntas EC\_03 y EC\_04. Se realiza una relación con respecto a la localidad a través del método de relación de Chi – cuadrado. La cual arroja que no se puede considerar una relación de la variable de “Reducción de materias primas” con la localidad regional de Chile. Esto se explica en el siguiente cuadro en el cual el P-valor o la significación asintótica (bilateral) son mayores a un 0,05.

**Tabla 15** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs reducción MP.  
Fuente: **Elaboración propia**

#### Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Reducción materias Primas.

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	22,171 <sup>a</sup>	14	,075
Razón de verosimilitud	24,834	14	,036
N de casos válidos	126		

Al no poder considerar una relación entre estas dos variables. Por medio del método de Chi-cuadrados. De igual forma se puede obtener una dispersión de la tendencia de implementación de la Economía Circular a lo largo de Chile, por medio de la variable de la “reducción de materias primas” que forma parte de uno de los principios de implementación de la Economía Circular. Del constructo de “Incrementación y conservación de los recursos”. La dispersión por Localidad regional se representa en el siguiente gráfico:



**Grafico 7** Dispersión de la variable "Reducción de materias primas.

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en el grafico 9. La dispersión de la implementación de la Economía Circular a través de la Variable "Reducción de materias primas". Es verdadera en la gran mayoría de las regiones de Chile. Las regiones XI Aysen y XV Arica y Parinacota, son las que poseen un 100% de falso en donde estas regiones extremas no se realiza una reducción de materias primas, por lo que la implementación de la Economía Circular en estas regiones se puede inducir que no se realiza.

En general a lo largo de Chile la variable de "Reducción de materias primas" según la encuesta realizada con un 55,6% se realizan técnicas de reducción de materias primas y por debajo con un 44.4% no se realizan medidas para considerar una reducción de la materias primas en la implementación de una Economía Circular.

### Relación de Localidad con Reducción de materias primas.

Las preguntas que exponen la variable de "Disminución de residuos" corresponden a las Preguntas EC\_05, EC\_06, EC\_07 y EC\_08. Se realiza una relación con respecto a la localidad a través del método de relación de Chi – cuadrado. La cual arroja que se puede considerar una relación de la variable de "Disminución de residuos" con la localidad regional de Chile. Ya que el cual el P- tiende a 0.

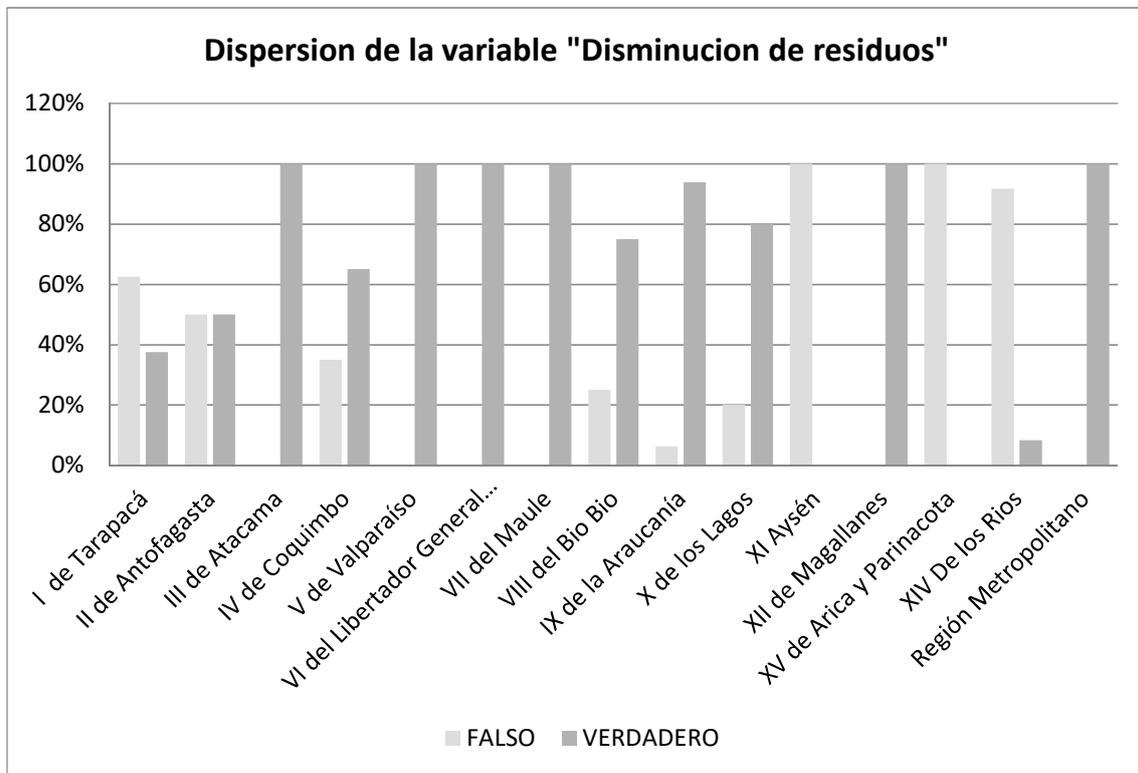
**Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Disminución de residuos.**

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	135,148 <sup>a</sup>	14	,000
Razón de verosimilitud	135,943	14	,000
N de casos válidos	252		

**Tabla 16** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs Disminución de residuos.

**Fuente:** Elaboración propia.

La dispersión de la variable de “Disminución de residuos” a lo largo de Chile se representa de la siguiente forma:



**Grafico 8** Dispersión de la variable “Disminución de residuos”.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el grafico 10. A través de la encuesta realizada la dispersión de la implementación de la Economía Circular a través de la Variable “Disminución de residuos”. Es verdadera en la gran mayoría de las regiones de Chile. Solo existen tres regiones que corresponde a I DE Tarapaca; XV Arica y Pariacota y XIV De los ríos que posee una tendencia a no Falso.

En general a lo largo de Chile la variable de “Disminución de residuos” según la encuesta realizada con un 81,3% se realizan técnicas de disminución de residuos y por debajo con un 18.7% no se realizan medidas para considerar una disminución de residuos en la implementación de una Economía Circular.

### Relación de Localidad con Equilibrio energético.

“Equilibrio energético” es una variable que plantea el principio de Optimización de los recursos naturales de la Economía Circular. Esta variable en la encuesta se plantea a través de las Preguntas EC\_09, EC\_10, EC\_11 y EC\_12. Se realiza una relación con respecto a la localidad a través del método de relación de Chi – cuadrado. La cual arroja que se puede considerar una relación de la variable de “Equilibrio energético” con la localidad regional de Chile. Ya que el cual el P- tiende a 0.

#### Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Equilibrio energético.

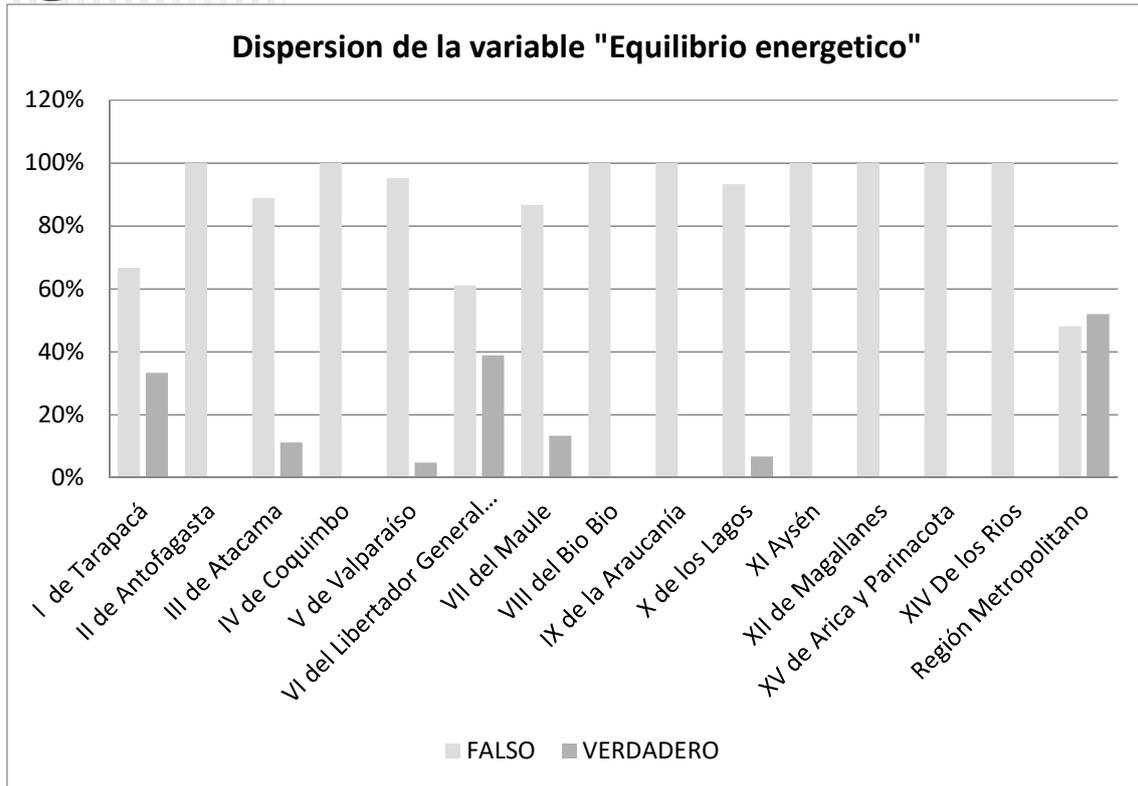
	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	52,362 <sup>a</sup>	14	,000
Razón de verosimilitud	53,207	14	,000
N de casos válidos	189		

a. 17 casillas (56,7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,46.

**Tabla 17** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs Equilibrio energético.

**Fuente:** Elaboración propia.

La dispersión de la variable de “Equilibrio energético” es una de las variables más desfavorable en la implementación de la Economía Circular a lo largo de Chile. Predomina la aseveración “FALSA” la cual es la no implementación de un sistema de producción cíclico, la dispersión se representa en el siguiente gráfico:



**Grafico 9** Dispersión de la variable “Equilibrio energético”.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el grafico 11 se muestra que la variable “Equilibrio energético” solo en la región Metropolitana tiene una leve ventaja la característica de “Verdadero”. La cual contempla la implementación de un sistema de Economía Circular. En todas las demás regiones predomina las respuestas “Falso” la cual no se realizan acciones en cuanto a esta variable para considerarla como un sistema de Economía Circular.

A nivel nacional en cuanto a la variable “Equilibrio energético” que pertenece al principio de Optimización de los recursos naturales de la Economía Circular. No se puede considerar la producción de mezcla asfáltica como un modelo de Economía Circular. Un 84,7% de las respuestas fueron falsas y solo un 15.3% de las respuestas de la encuestas fueron verdaderas.

### **Relación de Localidad con Emisiones Contaminantes.**

La variable de “Emisiones Contaminante” se plantea en las preguntas EC\_12, EC\_13, y EC\_14. Esta variable permite demostrar el principio de Optimización de los recursos naturales el cual permite la implementación de la Economía Circular.

Se realiza una relación con respecto a la localidad a través del método de relación de Chi-cuadrado. La cual arroja que se puede considerar una relación de la variable de “Emisiones contaminantes” con la localidad regional de Chile. Ya que el cual el P-Valor tiene un valor de 0,003.

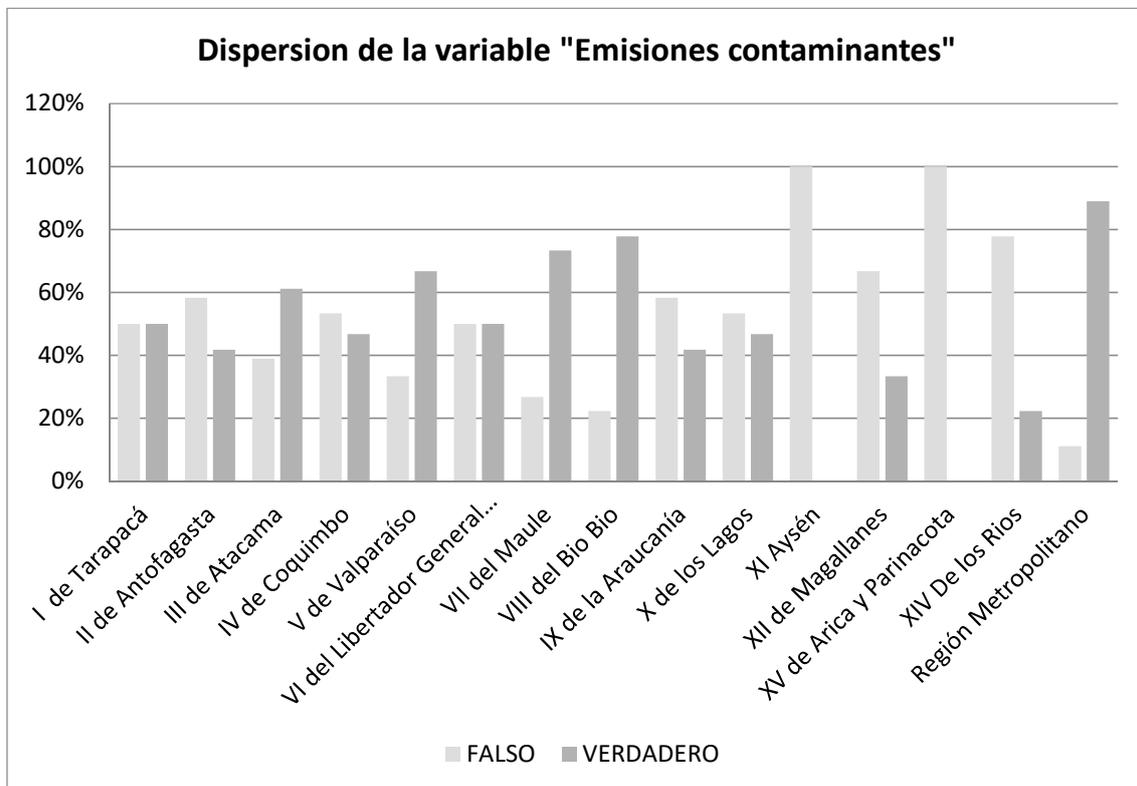
**Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Emisiones contaminantes.**

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	33,117 <sup>a</sup>	14	,003
Razón de verosimilitud	37,633	14	,001
N de casos válidos	189		

a. 10 casillas (33,3%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 1,30.

**Tabla 18** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs Emisiones contaminantes.  
Fuente: Elaboración propia.

La dispersión de la variable de “Emisiones contaminantes” a lo largo de Chile se representa de la siguiente forma:



**Grafico 10** Dispersión de la variable “Emisiones contaminantes”.  
Fuente: Elaboración propia.

A través de la encuesta realizada se observa en el grafico 12 la dispersión de la implementación de la Economía Circular a través de la Variable “Emisiones contaminantes”. Es verdadera en la gran mayoría de las regiones de Chile. Solo existen dos regiones que corresponde a XI Aysen y XV Arica y Pariacota que posee una

tendencia a una no implementación de la Economía Circular con la variable Emisiones contaminantes.

En general a lo largo de Chile la variable de “Emisiones contaminantes”. Se obtuvieron los siguientes resultados un 43,4% de respuestas Falso y un 56,6% de respuestas Verdaderas.

### Relación de Localidad con Mantener Costo.

“Mantener costos” es una variable que se plantea en el principio de implementación de Promover la producción cíclica. Por medio de esta variable el sistema de Economía Circular exponen el valor añadido que deben tener los métodos productivos para sostener este sistema y una de esas actividades es mantener los costos.

Esta Variable se representa en la pregunta EC\_15 de la encuesta realizada. Al igual que las otras variables se realizó una relación con la localidad a través del método de Chi-cuadrado. El cual arroja una relación entre mantener los costos y la localidad regional de Chile el P-Valor obtenido es de 0,001 lo cual es menos a 0,005 por la tanto se acepta la relación.

### Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Mantener costos.

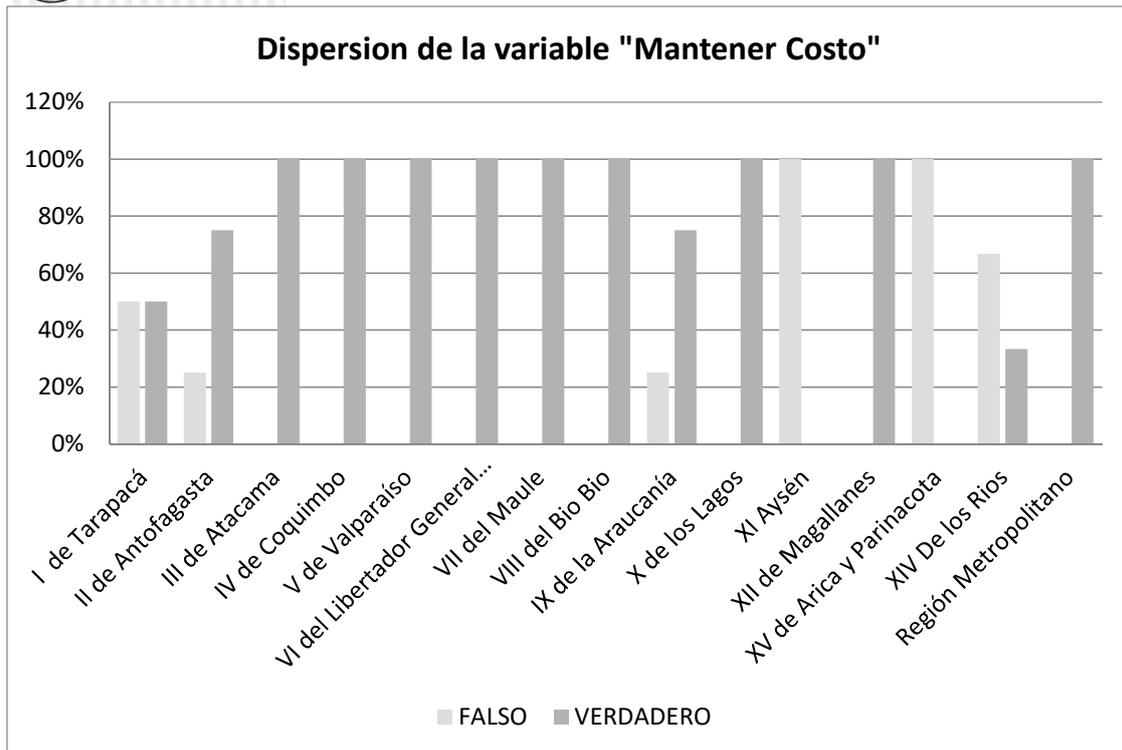
	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	76,834 <sup>a</sup>	42	,001
Razón de verosimilitud	44,767	42	,356
Asociación lineal por lineal	,139	1	,710
N de casos válidos	63		

a. 59 casillas (98,3%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,02.

**Tabla 19** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs Mantener costos.

**Fuente:** Elaboración propia.

La dispersión de la variable de “Mantener Costos” a lo largo de Chile se representa de la siguiente gráfica:



**Grafico 11** Dispersión de la variable "Mantener costos".  
**Fuente:** Elaboración propia.

En el grafico 13 se muestra que la variable "Mantener costos" en la gran mayoría de las regiones de Chile las respuesta han sido verdaderas. Solo las regiones de XV Arica y Parinacota y XI Aysen, poseen un 100% de respuestas negativas por lo que no siguen la tendencia del resto del país.

A nivel nacional en cuanto a la variable "Mantener costos" un 11,1% respondió con Falso que no corresponden a la implementación de un sistema de Economía Circular y un 88,9% a Verdadero.

### Relación de Localidad con Valor del producto.

"Valor del producto" es una variable que se plantea en el principio de implementación de Promover la producción cíclica. Esta variable explica las acciones que debe tomar una organización para aportar un valor añadido a la producción cíclica. Esta variable se plantea en las preguntas EC\_16; EC\_17 y EC\_18 en la encuesta realizada.

La relación con la localidad de variable "Valor del producto" a través de método Chi-cuadrado, considera que estas variables no poseen relación alguna, ya que el P-Valor tiene un numero de 0.276. Mayor a 0,005.

**Pruebas de Chi-cuadrado Localidad vs Valor del producto.**

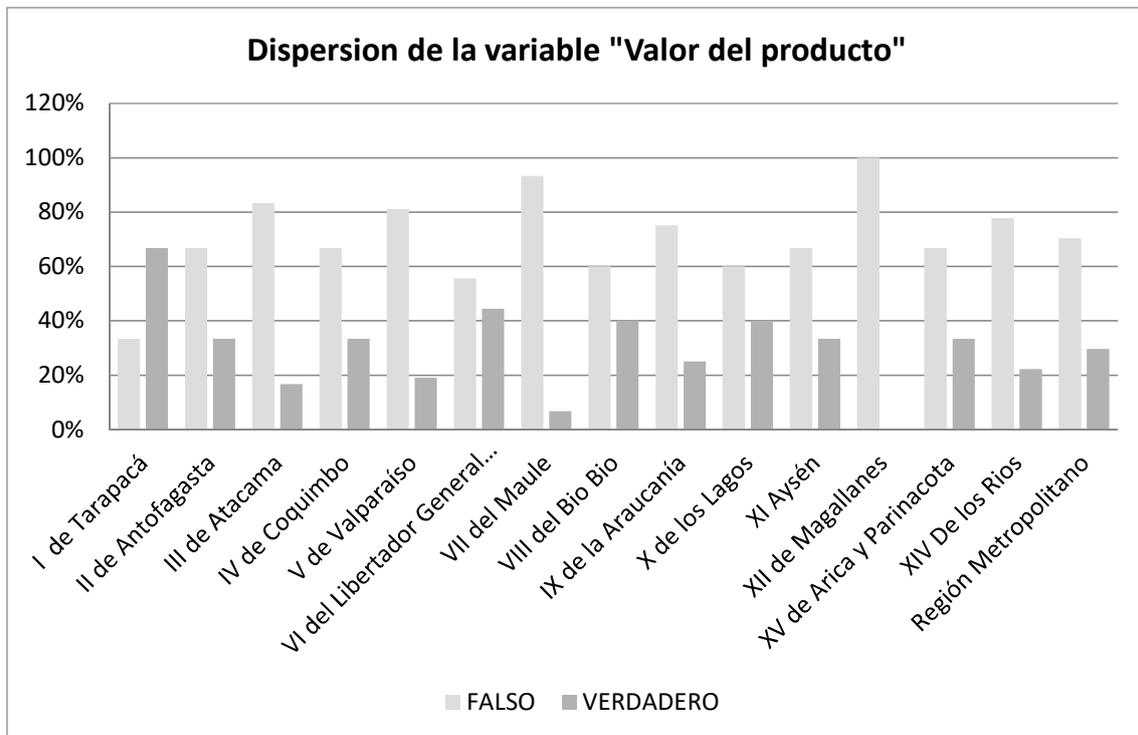
	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	16,646 <sup>a</sup>	14	,276
Razón de verosimilitud	18,408	14	,189
N de casos válidos	189		

a. 17 casillas (56,7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,83.

**Tabla 20** Pruebas Chi – Cuadrado Localidad vs Valor del producto.

**Fuente:** Elaboración propia.

La dispersión de la variable de “Mantener Costos” a lo largo de Chile se representa de la siguiente gráfica:



**Grafico 12** Dispersión de la variable “Valor del producto”.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el grafico 14 se muestra que la variable “Valor del producto” en la gran mayoría de las regiones de Chile las respuesta han sido Falso. Solo las región de I de Tarapacá, poseen un aumento de respuestas verdaderas con respecto a las respuestas falsas.

A nivel nacional en cuanto a la variable “Valor del producto” un 72,5% respondió con Falso que no corresponden a la implementación de un sistema de Economía Circular y un 27,5% a Verdadero. Por lo que la variable valor del producto no se realizan las acciones para un modelo de Economía Circular.

### 3.4.5 Prueba de Hipótesis Chi-cuadrado.

Se realizó la prueba de hipótesis Chi-cuadrado para confirmar la relación de los principios de implementación de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Se realizó la prueba Chi-cuadrado a cada uno de los tres principios de implementación de la Economía Circular (Incrementar y conservar los recursos; Optimización de los recursos naturales y Promover la producción cíclica) relacionándolos entre cada uno de ellos de la siguiente manera:

1. Prueba de Hipótesis 1 Chi-cuadrado, relaciona el principio de “Incrementar y conservar los recursos” con el principio de “Optimización de los recursos naturales” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.
2. Prueba de Hipótesis 2 Chi-cuadrado, relaciona el principio de “Incrementar y conservar los recursos” con el principio de “Promover la producción cíclica” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.
3. Prueba de Hipótesis 3 Chi-cuadrado, relaciona el principio de “Optimización de los recursos naturales” con el principio de “Promover la producción cíclica” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

#### **Prueba de Hipótesis 1 Chi-cuadrado.**

La prueba de hipótesis 1 relaciona el principio de “Incrementar y conservar los recursos” con el principio de “Optimización de los recursos naturales” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Para su realización se consideraron las siguientes hipótesis estadísticas:

**H0:** Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Optimización de los recursos naturales” de la implementación de la Economía Circular **no** poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

**H1:** Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Optimización de los recursos naturales” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Al realizar la ejecución de los datos en el programa IBM SPSS Statistics, arrojo los siguientes datos:

### Prueba de hipótesis 1 de Chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	82,348 <sup>a</sup>	30	,000
Razón de verosimilitud	67,580	30	,000
Asociación lineal por lineal	22,965	1	,000
N de casos válidos	63		

a. 38 casillas (90,5%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,03.

**Tabla 21** Pruebas hipótesis 1 Chi – Cuadrado.

**Fuente:** Elaboración propia.

La interpretación de los datos arrojados por el método de Chi-cuadrado. Es la siguiente Como el nivel de significancia o P-Valor es menor que 0,05 ( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Podemos concluir que a un nivel de significancia de 0,05 Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Optimización de los recursos naturales” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

### Prueba de Hipótesis 2 Chi-cuadrado.

La prueba de hipótesis 2 relaciona el principio de “Incrementar y conservar los recursos” con el principio de “Promover la producción cíclica” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Para su realización se consideraron las siguientes hipótesis estadísticas:

**H<sub>0</sub>:** Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular **no** poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

**H<sub>1</sub>:** Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Al realizar la ejecución de los datos en el programa IBM SPSS Statistics, arrojo los siguientes datos:

### Prueba de hipótesis 2 de Chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	50,464 <sup>a</sup>	20	,000
Razón de verosimilitud	34,037	20	,026
Asociación lineal por lineal	1,391	1	,238
N de casos válidos	63		

a. 26 casillas (86,7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,02.

**Tabla 22** Pruebas hipótesis 2 Chi – Cuadrado.

**Fuente:** Elaboración propia.

La interpretación de los datos arrojados por el método de Chi-cuadrado. Es la siguiente Como el nivel de significancia o P-Valor es menor que 0,05 ( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Podemos concluir que a un nivel de significancia de 0,05 Los principios de “Incrementación y conservación de los recursos” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

### Prueba de Hipótesis 3 Chi-cuadrado.

La prueba de hipótesis 3 relaciona el principio de “Optimización de los recursos naturales” con el principio de “Promover la producción cíclica” en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Para su realización se consideraron las siguientes hipótesis estadísticas:

**H0:** Los principios de “Optimización de los recursos naturales” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular **no** poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

**H1:** Los principios de “Optimización de los recursos naturales” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Al realizar la ejecución de los datos en el programa IBM SPSS Statistics, arrojé los siguientes datos:

### Prueba de hipótesis 3 de Chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	46,337 <sup>a</sup>	24	,004
Razón de verosimilitud	25,052	24	,403
Asociación lineal por lineal	8,173	1	,004
N de casos válidos	63		

a. 30 casillas (85,7%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,03.

**Tabla 23** Pruebas hipótesis 3 Chi – Cuadrado.

**Fuente:** Elaboración propia.

La interpretación de los datos arrojados por el método de Chi-cuadrado. Es la siguiente Como el nivel de significancia o P-Valor es menor que 0,05 ( $0,000 < 0,05$ ) rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Podemos concluir que a un nivel de significancia de 0,05. Los principios de “Optimización de los recursos naturales” y “Promover la producción cíclica” de la implementación de la Economía Circular poseen relación entre sí en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

Como se observa las relaciones estadísticas entre los diversos principios de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile guardan relación entre cada uno de ellos esto quiere decir que todos los principios poseen relación entre sí para la implementación de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

### 3.4.6 Análisis de correspondencia múltiples

El análisis de correspondencia es un método de interdependencia entre variables. No existe diferencia entre variables dependientes e independientes. El objetivo del análisis de correspondencia múltiple es establecer relaciones entre las variables cualitativas, en el método se utilizan frecuencias parámetros no métricos. Se busca distancia de relación a través de los métodos de chi- cuadrados y euclidia. La relación de las variables se analiza a través de un gráfico perceptual. (Hernández, L. R. 2012).

Para la investigación se utilizó las variables de implementación de un sistema de Economía Circular el cual corresponden a: Reducción de materias, Disminución de residuos, Equilibrio energético, Emisiones contaminantes, Mantener costes de producción y valor del producto. Y se buscó la relación de estas variables con los atributos de “No se considera una Economía Circular” y “Se considera una Economía Circular” para dar una respuesta a la hipótesis de investigación. (Hipótesis: “La industria de producción de mezcla asfáltico en Chile, bajo sus características se puede considerar como un proceso de ciclo cerrado de Economía Circular”). La frecuencia de los datos se obtuvo de las encuestas realizadas en la investigación, obteniendo la analogía de cada respuesta con un “VERDADERO” en el caso de la implementación de un sistema de Economía Circular y un “NEGATIVO” en el caso de que no exista la implementación de la Economía Circular.

Los datos utilizados para el análisis son los siguientes:

**Tabla de correspondencias**

Variables	Cond_EC			
	Se Considera Economía Circular	No se Considera Economía Circular	No Existe Claridad	Margen activo
Reducción de materia prima	70	55	1	126
Disminución de residuos	205	35	12	252
Equilibrio energético	29	157	3	189
Emisiones Contaminantes	107	82	0	189
Mantener costes	56	7	0	63
Valor del producto	52	131	6	189
Margen activo	519	467	22	1008

**Tabla 244** Tablas de correspondencia Análisis.

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla número 24 de correspondencia, muestra la frecuencia de las respuestas emitidas en la encuesta. En donde se relaciona las variables de implementación de la Economía Circular con la tipo de respuestas ofertada en la encuesta en donde podía ser “VERDADERA” en el caso de consideración de un sistema Circular o “Falsa” cuando no se consideraba un sistema de Economía Circular. Existe otro atributo que corresponde a las preguntas que no fueron respondidas. En el caso de estas respuestas se asume que no existía claridad en el tema del encuestador.

### Resumen

Dimensión	Valor singular	Inercia	Chi cuadrado	Sig.	Proporción de inercia		Valor singular de confianza	Correlación 2
					Contabilizado para	Acumulado	Desviación estándar	
2	,120	,015			,049	1,000	,020	
Total		,296	297,905	,000 <sup>a</sup>	1,000	1,000		

a. 10 grados de libertad

**Tabla 255** Resumen de Análisis de Correspondencia.  
**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 25 corresponde a la tabla resumen del análisis de correspondencia múltiple. En la cual se observa que si existe una relación entre todas las variables en cuestión y las dimensiones que se relacionaran. El valor de significado es menor que 0,05 en el cual tenemos un valor de 0,000a. Otra observación que se destaca en la tabla resumen es la proporción de inercia acumulada que corresponde a toda la información que contendrá la segunda dimensión graficada, que corresponde a un 100%. Por lo cual se puede proseguir con el análisis de correspondencia.

**Puntos de fila generales Análisis de correspondencia “Variables”**

Variables	Masa	Puntuación en dimensión		Inercia	Contribución				
		1	2		Del punto en la inercia de dimensión		De la dimensión en la inercia del punto		
					1	2	1	2	Total
Reducción de materia prima	,125	-,061	-,099	,002	,002	,085	,275	,725	1,000
Disminución de residuos	,250	-,642	,134	,108	,367	,311	,958	,042	1,000
Equilibrio energético	,188	,739	,008	,103	,365	,001	1,000	,000	1,000
Emisiones Contaminantes	,188	-,070	-,154	,005	,003	,308	,172	,828	1,000
Mantener costes	,063	-,723	-,198	,035	,116	,168	,930	,070	1,000
Valor del producto	,188	,469	,099	,043	,147	,127	,957	,043	1,000
Total activo	1,000			,296	1,000	1,000			

a. Normalización principal de fila

**Tabla 266** Puntos de fila Análisis de Correspondencia “Variables”.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Puntos de columna generales Análisis de correspondencia "Atributos"**

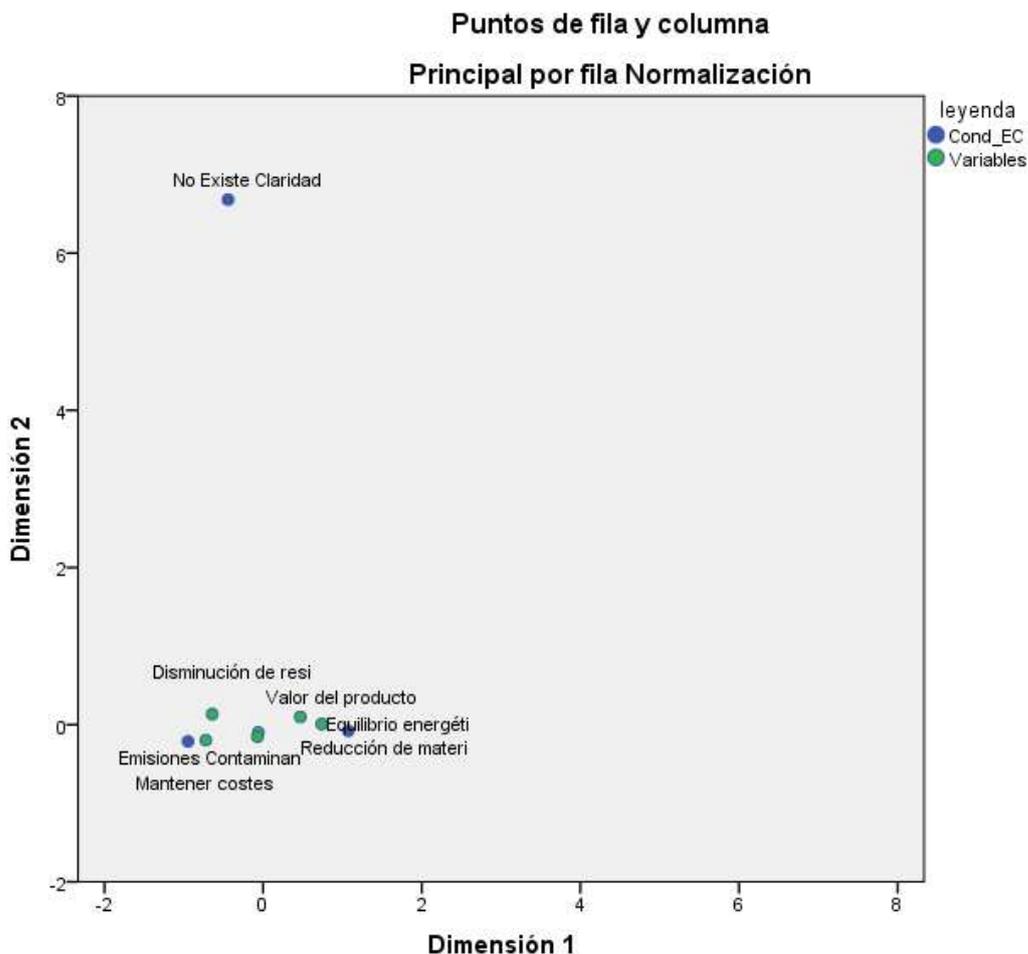
Cond_EC	Masa	Puntuación en dimensión		Inercia	Contribución				
		1	2		Del punto en la inercia de dimensión		De la dimensión en la inercia del punto		
					1	2	1	2	Total
Se Considera Economía Circular	,515	-,947	-,212	,130	,462	,023	,997	,003	1,000
No se Considera Economía Circular	,463	1,073	-,079	,150	,534	,003	1,000	,000	1,000
No Existe Claridad	,022	-,443	6,680	,015	,004	,974	,078	,922	1,000
<b>Total activo</b>	<b>1,000</b>			<b>,296</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>			

a. Normalización principal de fila

**Tabla 277** Puntos de columna Análisis Correspondencia "Atributos".  
**Fuente:** Elaboración propia.

De las tablas 26 y 27 se infiere la influencia que poseen las variables en cuesti3n en los dos tipos de dimensiones que se graficaran. En el caso de las variables de implementaci3n de la Economía Circular que corresponden a las variables Reducci3n de materias, Disminuci3n de residuos, Equilibrio energètico, Emisiones contaminantes, Mantener costes de producci3n y valor del producto. En la tabla 26 se muestran que las variables de Disminuci3n de residuos y Equilibrio energètico poseen una mayor influencia en la dimensi3n nùmero 1 con 0.367 y 0.365 respectivamente. En el caso de la dimensi3n numero 2 las variables que poseen una mayor influencia son Disminuci3n de residuos y Emisiones contaminantes con un 0.311 y 0.308 respectivamente.

La tabla numero 27 muestra la influencia de los atributos. En este caso corresponden al modelo de respuesta planteado en la encuesta los cuales se designa como: “No se considera una Economía Circular”, “Se considera una Economía Circular” y “no existe claridad”. En el caso de la dimensi3n numero 1 el atributo que posee una mayor relevancia es “No se considera una Economía Circular” con un 0.534 de influencia. En el caso de la dimensi3n numero 2 la mayor relevancia la posee el atributo “No existe claridad” con un 0.974. En ningùn caso la variable “se considera Economía Circular” toma relevancia.



**Grafico 13** Puntos de fila y columnas de anàlisis de correspondencia.

**Fuente:** Elaboraci3n propia.

Al graficar las dos dimensiones obtenemos la relación que buscamos y encontrar respuesta a nuestra hipótesis de investigación. En el gráfico—se observa que la distribución de las variables es homogénea salvo la variable “No existe claridad” que se escapa de la tendencia. Pero al analizar la dispersión de los demás puntos podemos observar que no existe una relación clara de la variable “se considera Economía Circular” con respecto a las variables de implementación. A la variable “se considera Economía Circular” se vincula más las variables de “Disminución de residuos” y “Mantener los costes”. En el caso de la variable “No se considera Economía Circular” posee una mayor vinculación con las variables implementación de “Equilibrio energético” y “Valor agregado del producto”.

Bajo las condiciones del análisis de correspondencia múltiple no se puede aseverar la hipótesis de investigación. (La industria de producción de mezcla asfáltica en Chile, bajo sus características se puede considerar como un proceso de ciclo cerrado de Economía Circular). Ya que existe una tendencia clara a la consideración de un sistema de Economía Circular en la mezcla de asfalto en Chile con respecto a las variables de implementación de este sistema cíclico.

### 3.4.7 Regresión Lineal con variables cualitativas dicotómicas.

El análisis de regresión lineal tiene como objetivo principal demostrar la acción que posee una variable sobre otra diferente. (Hernandez, 2012). La relación que establece esta técnica de dependencia, es encontrar la relación de variables con dependencia e independientes, definiendo la forma en la cual se desarrolla la relación, mediante ecuaciones matemáticas que explican la relación.

El análisis de regresión lineal desarrollado en la investigación se enfoca en la relación si la condición de implementación de Economía circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile es afectada por las Variables de implementación del modelo de Economía Circular y cuál es el modelo matemático que lo explica.

La condición de implementación de Economía circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile se define por dos variables. Que corresponde a una afirmación “Verdadera” En el caso que exista una implementación de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica y una condición “Falsa” en el caso que no se considere una implementación de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica. Como estas dos variables son cualitativas para llevar a cabo el método de regresión lineal se designa estas dos variables como “Dummy”. Esta técnica codifica una categoría en 0 (ausencia de un determinado rasgo) y 1 la otra categoría (Presencia de ese rasgo). Para el caso de investigación se configuro para dejar nulo la variable “Falso”.

Los resultados del análisis de regresión son:

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,149 <sup>a</sup>	,022	-,067	59,78625

a. Predictores: (Constante), Condic\_EC

**Tabla 288** Resumen Regresión Lineal.

**Fuente:** Elaboración propia.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	894,874	1	894,874	,250	,627 <sup>b</sup>
	Residuo	39318,357	11	3574,396		
	Total	40213,231	12			

a. Variable dependiente: Cantidad

b. Predictores: (Constante), Condic\_EC

**Tabla 299** Resumen Anova.

**Fuente:** Elaboración propia.

Podemos observar que en la tabla 29 el valor del nivel crítico (sig.) es 0.627 lo que nos indica que no existe una relación estadística significativa ya que es mayor a un 0.05 valor que corresponde al máximo. Por esta razón es que no se puede generar un modelo matemático que relacione la condición de implementación de Economía circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile con las Variables de implementación del modelo de Economía Circular. No existe una relación significativa del modelo.

## 4. CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y DISCUSIONES.

### 4.1 Discusiones de resultados.

El objetivo de esta investigación es Identificar y analizar si la producción de mezcla asfáltica en Chile está preparada para considerarla como una producción de ciclo cerrado con las características de la Economía Circular. A través de un análisis del marco teórico, esto del arte y la encuesta realizada. Los resultados de esta investigación se discuten a continuación:

#### 4.1.1 Discusión del Marco Teórico y estado del arte

1. La Economía Circular es un concepto que se relaciona con la sostenibilidad en la producción. Tiene como objetivo principal generar un valor agregado en la producción de diferentes organizaciones. En los tiempos de hoy existen grandes problemas medio ambientales a nivel mundial que han llevado a diversos países en conjunto a adoptar el modelo de Economía Circular. Este modelo impone una nueva forma de gestionar los procesos de producción industrial y de esta forma hacer frente a los problemas de agotamiento de materias primas que han originado los problemas medio ambientales.
2. La decisión común que han adoptado diversos países por este modelo de Economía Circular se debe a las limitaciones de los recursos naturales, beneficios económicos y medio ambientales. Entre los países que han adoptado este modelo encontramos: Japon, Union Europea, China.
3. El caso de Chile ha seguido los pasos de la Unión Europea y es el primer país en Latinoamérica en realizar acciones para implementar el concepto de Economía Circular. La primera acción es la creación de la *“Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (LEY N°20.920)”*, *“tiene por objetivo disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente”*.
4. Diversos investigadores han concluido que los fundamentos de la Economía Circular se centran en un modelo de ecología inteligente. Pero la implementación de un modelo Economía Circular lo explica Cerda, E. y Khalilova, A. El cual se basa en tres principios de acción fundamentales que son:

Incrementar y conservar los recursos naturales, Optimización de los recursos naturales y Promover la efectividad del sistema cíclico. Cada uno de estos principios posee acciones a realizar que fueron asignadas como las variables de esta investigación. Para conocer si el modelo de producción de mezcla asfáltica en Chile se adapta al sistema de Economía Circular.

5. Diversos investigadores han identificado barreras que obstaculizan la implementación de un sistema de Economía Circular. La mayoría de los investigadores concuerdan que Las barreras de implementación de Economía Circular se producen por puntos de fugas, que provocan que no se produzca un cierre del ciclo de los procesos de producción. Esto se debe a diversas acciones que no se gestionan ni se planifican.
6. La Economía Circular en la construcción no es un modelo de sistema que este implementado. Solo se han realizado reciclaje y reutilización de residuos a menor escala en comparación a la producción total. Diversos investigadores proponen la necesidad de políticas de gestión de residuos, intervención de nuevas técnicas de ingeniería y el apoyo del sector gubernamental.

#### 4.1.2 La producción de mezcla asfáltica en Chile una producción lineal.

1. La mezcla asfáltica es el material de mayor utilización en las obras de pavimentación en Chile. Su producción se basa en la adquisición de recursos, elaboración, consumo y eliminación. Lo que provoca un efecto de agotamiento de las materias primas asociadas a la producción. Generando una producción lineal provocando una gran cantidad de residuos propias de la producción.
2. El residuo de la producción de mezcla asfáltica se denomina RAP. Este residuo posee un gran valor técnico y se puede reutilizar en la producción de mezcla asfáltica pero su incorporación debe ser gestionada y planificada para ocupar dosis predeterminadas previas a la producción.
3. En Chile no existe una normativa, decreto o ley ambiental explícita para la producción de mezcla asfáltica. Pero si existen normativas, decretos y leyes de forma general para todos los procesos industriales, los cuales se adaptan a la producción de mezcla asfáltica. Según la normativa chilena el residuo de las mezclas asfálticas es clasificado como un residuo inerte. La característica de esta clasificación se debe a que el material en este caso la mezcla asfáltica no cambia sus propiedades químicas.
4. Las normativas y leyes que deben acatar la producción de mezcla asfáltica en Chile. No contemplan un modelo de Economía Circular explícito. La única ley en Chile que hace referencia a un modelo de Economía Circular en Chile es la “Ley

*de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (LEY N°20.920)*”. que por el momento solo se aplica a ciertos productos industriales. No considera la producción de mezcla asfáltica.

5. La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha generado una serie de normas de gestión medio ambiental a consecuencia de las preocupaciones internacionales por el medio ambiente, se denominan ISO 14000. Tienen por objetivo enfocar a diferentes organizaciones y lograr apoyar la protección medio ambiental y prevenir la contaminación. Estas normas son el único apoyo internacional para llevar a cabo una implementación del modelo de Economía Circular a nivel internacional.

#### 4.1.3 Implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

1. Para la implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile, se deben desarrollar los principios de implementación de la Economía Circular que son tres (Incrementar y conservar los recursos naturales, Optimización de los recursos naturales y Promover la efectividad del sistema cíclico). Cada uno de estos principios posee variables o acciones a realizar para llevarlos a cabo. Cada acción fue cubierta por una técnica innovadora en la producción de mezcla asfáltica que son acciones de producción que deben tener en consideración los productores de mezclas asfálticas.
2. **Variable Reducción y minimización de materias primas:** La reducción de materias primas en la producción de mezcla asfáltica es una acción eminente que se lleva a cabo. Por el alto costo de extracción de áridos. Por esta razón diversos investigadores han propuesto el uso de residuos RAP además de varios residuos de diversas producciones para el reemplazo de agregado pétreo. Estas acciones permiten la implementación de un sistema de Economía Circular.
3. **Variable Disminución de los desechos y residuos:** La disminución de los residuos de la producción de mezcla asfáltica. Se realizan a través de técnicas de reutilización y reciclaje del RAP. Según los investigadores estas técnicas se realizan con el objetivo de disminuir los costos de producción, efectos ambientales y normas vigentes de sustentabilidad. Bajo estos objetivos la industria de la mezcla asfáltica pretende posesionarse con la Economía Circular.
4. **Variable Equilibrio energético:** La producción de mezcla asfáltica requiere de elevadas cantidades de energía para alcanzar elevadas temperaturas. Esto implica elevados costos y contaminación medio ambiental. Diversas investigaciones y técnicas comprobadas han aportado que se pueden realizar

mezclas asfálticas a temperaturas más bajas de lo normal ayudando de esta manera al equilibrio energético e implementado de forma indirecta los principios de Economía Circular.

5. **Variable Reducción de emisiones contaminantes:** La industria de la producción de mezcla asfáltica contribuye de gran manera a la generación de contaminantes hacia la atmosfera. Esto se genera por la gran combustión que la producción involucra para alcanzar las temperaturas deseadas. La gestión de reducción de contaminantes en la producción de mezcla asfáltica depende de las nuevas tecnologías e innovaciones. Tanto en la producción como la construcción de pavimentos de mezcla asfáltica.
6. **Variable Mantener costos y Valor de Producto:** El valor añadido ecológico en la producción de mezcla asfáltica es un proceso de investigación e innovación que se ha mantenido durante 30 años. La búsqueda de abaratar costos de producción a través de la minimización del impacto ambiental ha dado pie a diversos investigadores a buscar nuevas técnicas de construcción y producción de mezcla asfálticas. Entre las técnicas que destacan son: Reutilización y reciclado del RAP, Utilización de desechos de otras industrias, Incorporación de modificadores en la producción de mezcla asfáltica, entre otras.
7. Como se observó en la investigación de la industria de la mezcla asfáltica existen diversos estudios y técnicas de producción que permiten aseverar que la industria de la mezcla asfáltica se encuentra preparada para implementar un sistema de Economía Circular.

#### 4.1.4 Demografía de la muestra.

1. La demografía de la muestra está constituida por personas que poseen un liderazgo o jefatura en la producción de mezclas asfálticas los cuales se distinguen de la siguiente forma: un 19.0% son Jefe de planta, 12.7% son Jefe de operaciones, 33.3% Encargado de planta, 27.0% Supervisor de planta y un 7.9% corresponden a Gerente de producción. Estas denominaciones de categorías de puestos de trabajos son los más comunes para señalar el puesto de un encargado de producción de mezcla asfáltica.
2. En relación a la localidad, se refiere a la región de Chile a la que pertenece las plantas de asfalto. En Chile existen 15 regiones de las cuales se obtuvo un encuestado de cada región los que se distribuyeron de la siguiente forma: Región Metropolitana 14.3%, V región de Valparaíso 11.1%, III de Atacama 9.5%, VI Del Libertador Bernardo O'higgins 9.5%, IV Coquimbo .9%, VII Maule y X de los Lagos 7.9%, II Antofagasta 6.3%, IX Araucanía 6.3%, XIV De los Ríos 4,8%, VII Bio Bio



4,8%, I Tarapacá 3.2%, XII Magallanes 3.2%, XV Arica y Parinacota 1,6%, XI Aysén 1,6%.

3. Respecto al nivel de producción de las plantas asfáltica encuestadas un 1.6% producen más de 10.000 toneladas de mezcla asfáltica mensual, un 3,2% producen entre 7.000 – 10.000 toneladas al mes, un 27.4% producen entre 2.000 – 7.000 toneladas mensuales, la mayor producción mensual la obtiene el rango de 500 – 2.000 toneladas con un 61,3%, por último se tiene las plantas que producen menos de 500 toneladas de mezcla asfáltica mensuales con un 8.1%.
4. En relación al tipo de plantas asfálticas más utilizado entre los encuestados en Chile son las del tipo Continua con un 73.8% y solo un 26.2% ocupan plantas asfálticas del tipo Discontinua.

#### 4.1.5 Discusión resultados de la encuesta.

1. . **Conceptos Generales.** De los encuestados solo un 44,4% reconoce el término de Economía Circular frente a un 55,6% que nunca lo ha escuchado. Entre los que reconocen el término de Economía Circular. Cabe destacar que la mayoría lo han leído en medios de comunicación. En relación al conocimiento de leyes que incentiven la implementación de la Economía Circular solo un 33,4% reconocen dichas normas y un 66,6% reconocen normas ambientales que no tienen relación con la Economía Circular.
2. **Reducción de materias primas.** De los encuestados un 55,6% afirma que realiza acciones de reducción de materias primas y un 44,4% no realizan acciones que se reconozcan como implementación de una Economía Circular. De los que realizan acciones de reducción de materias primas un 73% afirma realizan esta acción a través de la técnica de Reutilización del residuo RAP. los encuestados afirman con un 25,4% que realizan esta acción por la necesidad de escasez de materias primas. Las regiones de Chile que no realizan reducción de materias primas son Las regiones extremas de XI Aysén y XV Arica y Parinacota. En cambio las regiones de la zona central es donde existe una mayor brecha de acciones de reducción de materias primas.
3. **Disminución de los residuos.** Un 81,3% realizan técnicas de disminución de residuos, solo un 18.7% no realizan acciones para considerar una disminución de residuos en la implementación de una Economía Circular. La necesidad principal por la cual realizan disminución de residuos es la reducción de costos de producción con un 65,1%. Esta reducción de costo se manifiesta por que la técnica de reducción de residuos que realizan las plantas de asfalto se basa en la reutilización del residuo asfáltico RAP en la misma producción para bajar las

dosis de materia prima de agregado pétreo. Esta técnica de disminución de materias primas se reconoce con un 39.7%. La dosis de reutilización de residuos con respecto al porcentaje de agregado pétreo en la producción de mezcla asfáltica en Chile es de un 10% a un 20% un 63.5% reconoce esta dosis de reutilización.

4. **Equilibrio energético.** A nivel nacional con los resultado de la encuesta la variable Equilibrio energético. No se obtuvo una respuesta de afirmación de su implementación solo un 15,3% reconoce acciones que permiten reconocer una acción de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica. Un 84,7% no reconoce realizar acciones para combatir el equilibrio energético. La técnica de producción de mezcla asfáltica para realizar un equilibrio energético acorde con la Economía Circular es la fabricación de mezclas asfálticas especiales denominadas mezclas asfálticas tibias. Solo un 10.5% de los encuestados reconoce fabricar estos tipos de mezclas y su mayoría se encuentran en la Región metropolitana en donde se encuentra Santiago la capital de Chile.
5. **Emisiones contaminantes.** Un 56,6% de los encuestados reconoce realizar acciones para contrarrestar las emisiones de contaminantes y solo un 43,4% las acciones que realiza no se pueden considerar como un método de eliminación de las emisiones contaminantes ante la implementación de un modelo de Economía Circular. Una de las acciones que reconocen los encuestados que realizan para mitigar la emisiones contaminantes es la gestión de materias prima previas a la producción (mantener humedad y condiciones que alteren al medio ambiente) con un 55,6%. Otra acción que realiza es el tipo de combustible que ocupan la plantas de asfalto en Chile un 60.3% reconoce la utilización de petróleo para su producción.
6. **Valor del producto.** A nivel nacional en cuanto a la variable “Valor del producto” un 72,5% respondió con Falso que no corresponden a la implementación de un sistema de Economía Circular y un 27,5% a Verdadero. Por lo que la variable valor del producto no se realizan las acciones para un modelo de Economía Circular. Un 20,6% de los encuestados reconoce que el objetivo primordial de la producción de mezcla asfáltica es generar una mayor cantidad de toneladas a un menor costo de producción. Y solo un 4,8% considera que el valor agregado de la producción de mezcla asfáltica es la condición medio ambiental.

#### 4.1.6 Relación de variables.

1. Las relaciones estadísticas entre los tres principios de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile guardan relación entre cada uno de ellos

esto quiere decir que todos los principios poseen relación entre sí para la implementación de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.

#### 4.2 Conclusiones de la investigación.

El objetivo de esta investigación es identificar y analizar si la producción de mezcla asfáltica en Chile está preparada para considerarla como una producción de ciclo cerrado con las características de la Economía Circular. A través de un estudio de marco teórico, del estado del arte, de la encuesta realizada y de su análisis, se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. La Economía Circular es un modelo de negocio que las organizaciones deben acatar. Los países están realizando políticas de estados y leyes para llevar a cabo este modelo de producción. Chile no está ajeno a esta implementación de este modelo ecológico. Si bien es uno de los primeros países en Latinoamérica en comenzar a realizar acciones de implementación de la Economía Circular. Según los resultados de la encuesta falta difusión para comunicar el modelo de Economía Circular entre las organizaciones.
2. Según la investigación realizada en Chile una de las primeras acciones de implementación del modelo de Economía Circular fue la promulgación de la “*Ley de Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (LEY Nº20.920)*”. Esta ley fue promulgada el 2016. Y tiene como objetivo disminuir la generación de residuos y fomentar el reciclaje y reutilización a través de la responsabilidad al productor. Esta ley en primera instancia solo se aplicara algunas empresas industriales en las cuales no se considera la producción de mezcla asfáltica. Hasta la fecha no existe una ley que incentive directamente el modelo de Economía Circular en la industria de la producción de mezcla asfáltica.
3. Según la investigación en el ámbito internacional solo existen las normas ambientales ISO 14.000 de protección medio ambiental. Estas normas no se basan en la implementación de un modelo de Economía Circular. Tienen por objetivo enfocar a diferentes organizaciones y lograr apoyar la protección medio ambiental y prevenir la contaminación. De forma íntegra con otros sistemas de gestión socioeconómicos. Si bien no se enfocan en la implementación de la Economía Circular, pero de igual forma se debe fomentar su aplicación para las organizaciones que quieran implementar el modelo de Economía Circular. Ya que permiten una mejora continua de la gestión medio ambiental a través de un sistema de planificación, ejecución, comprobación y corrección en diversas organizaciones.
4. La producción de mezcla asfáltica posee acciones que permiten la implementación total del modelo de Economía Circular. Las diferentes técnicas de producción y tecnologías de la producción de mezclas asfálticas investigadas

permiten desarrollar los tres principios de implementación del modelo de Economía Circular (Incrementar y conservar los recursos naturales, Optimización de los recursos naturales y Promover la efectividad del sistema cíclico).

5. Según la encuesta realiza en la investigación los productores de mezclas asfálticas en Chile la mayoría no reconoce o no conoce el término de Economía Circular. En la producción de mezcla asfáltica en Chile hace falta una promulgación del modelo de Economía Circular al ser un área de la construcción que genera una gran cantidad de residuo de su producción y una utilización de recursos naturales de materiales pétreos. Se hace indispensable la promulgación de este modelo económico sustentable.
6. Con respecto al principio de implementación de la Economía Circular “Incrementar y conservar los recursos naturales”. Que posee como variables la Reducción de materias primas y la Disminución de las materias primas. En la investigación se puede asegurar que la producción de mezcla asfáltica en Chile se realizan técnicas y se gestiona en su mayoría a través de la reutilización de los residuos en la misma producción para la reducción de materias primas y esto con lleva a la disminución de los residuos. Esta técnica de producción se realiza por la necesidad de abaratar costos de producción y disminuir las materias primas de agregados pétreos que poseen la producción. De igual forma se observó que las regiones extremas de Chile no realizan las técnicas de reducción de materias primas ni disminución de residuos en sus producciones a diferencias de las regiones de la zona central del país.
7. Con respecto al principio de implementación de la Economía Circular “Optimización de los recursos naturales”. Que posee como variables el Equilibrio energético y las Emisiones contaminantes. Según los datos obtenidos en la encuesta de la investigación en la producción de mezcla asfáltica en Chile, no se realizan acciones para combatir el equilibrio energético. Según lo investigado para combatir el equilibrio energético se debe realizar técnicas especiales de producción de mezclas asfáltica, las denominadas mezclas tibias. Según los datos recopilados solo en la Región metropolitana en Chile que corresponde a la Capital Santiago se realizan este tipo de mezcla. Pero solo un nivel de producción de un 10% del total de la producción de las plantas. Estos datos demuestran que en Chile con respecto al equilibrio energético en la implementación de la Economía Circular no se realiza acciones para llevar un Equilibrio energético. Con respecto a las emisiones contaminantes se realizan acciones para mitigarlas. Las acciones según los encuestados se realizan a través de una gestión previa a la producción de materias prima para no generar contaminantes.
8. Con respecto al principio de implementación de la Economía Circular “Promover la efectividad del sistema cíclico”. Que posee como variable el valor del producto. según la investigación la producción de mezcla asfáltica en Chile. No



posee un valor de producto que incentive la producción cíclica del modelo de Economía Circular. Uno de los principales objetivos como productores de mezcla asfáltica es la mayor producción a un menor costo dejando de lado el incentivo medio ambiental o lo que se pueda generar de este.

9. La presente investigación logra realizar un catastro de la producción de mezcla asfáltica en Chile con respecto al modelo de la Economía circular. Se logra identificar los principios de implementación de la Economía Circular y compararlo con las técnicas de producción y tecnología que posee la industria de la mezcla asfáltica. Según la investigación en Chile se realizan acciones que permiten reconocerlas como métodos de implementación de una Economía Circular pero no se pueden reconocer una implementación completa de este modelo económico sustentable. A la industria de mezcla asfáltica en Chile le falta tener una mayor gestión de sus residuos y tener como objetivo que contemple el medio ambiente para comenzar a generar valor en su producto. de igual forma falta difundir nuevas tecnologías de fabricación de mezcla e incentivar no tan solo a los productores de mezcla asfáltica si no que realizar programas de gobierno o proyectos que incentiven estas tecnologías para lograr un modelo de Economía Circular.
10. La hipótesis de la investigación (La industria de producción de mezcla asfáltica en Chile, bajo sus características se puede considerar como un proceso de ciclo cerrado de Economía Circular) no se puede confirmar con un modelo de correspondencia. Ya que los hipótesis no posee un seguimiento o tendencia clara de las variables de implementación de un modelo de Economía Circular. La distribución de estas variables es compartida con la hipótesis antagonista que correspondería a no implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile. No existe una tendencia clara a la hipótesis formulada en la investigación.
11. No existe un modelo matemático que explique la relación de la confirmación de la hipótesis de la investigación con las variables de implementación de un modelo de Economía Circular, por lo que la implementación de un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile no se puede demostrar con un modelo matemático concreto.
12. La producción de mezcla asfáltica en Chile no se puede considerar como un modelo de Economía Circular. Si bien se realizan acciones que no son menores de sustentabilidad es necesario generar políticas de gobierno para incentivar el modelo de Economía Circular y la industria de la mezcla asfáltica debe comenzar a utilizar mayores tecnologías de producción de mezcla asfáltica. Gracias a la presente investigación se ha logrado identificar que el modelo de Economía Circular se puede implementar en la producción de mezcla asfáltica.

### 4.3 Limitaciones de la investigación.

1. Por poseer una población de plantas de asfalto tan reducida en Chile (118 plantas de asfalto) no se pudo tomar contacto con el total de la muestra por la dispersión geográfica del país solo se consiguió una población de 63 plantas. Que generaron un error muestral del 8.47%. Los errores comunes suelen fijarse en un 5% a 1%. Pero al ser una de las primeras investigaciones sobre este tema se acepta el error muestral.
2. La producción de mezcla asfáltica en Chile al ser una población tan reducida no se pudo sectorizar en regiones.
3. El proceso de contacto con las plantas productoras de mezcla asfáltica fue un proceso difícil. Debido a la geografía de Chile.
4. La presente investigación se encuentra limitada a Chile. Y solo hasta su fecha de emisión, ya que el modelo de Economía Circular está en auge en Chile los resultados de esta investigación podrían cambiar en un futuro cercano.

### 4.4 Recomendaciones

Se proponen las siguientes recomendaciones prácticas para implementar un modelo de Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile:

Para las empresas:

1. Las plantas de producción de mezcla asfáltica se recomienda promover el modelo de Economía Circular entre sus empleados. Además de incentivar la sustentabilidad y la gestión de las materias primas y residuos de la producción de esta forma poder realizar de manera más eficaz la implementación de un modelo de Economía Circular.
2. Se recomienda a la industria de la producción de mezcla asfáltica reconocer la técnica de reutilización de residuo RAP como un valor añadido a la producción incentivando la sustentabilidad en la producción.
3. Para la industria de la mezcla asfáltica se recomienda la utilización de técnicas innovadoras de producción que disminuyen la temperatura de producción. De esta manera se ahorrar costos en energía y ayudan a la implementación del modelo de Economía Circular. De igual forma se sugieren que las técnicas de producción de mezclas frías que se realizan en Santiago se han enseñadas en el resto de las regiones para su implementación.

4. Se recomienda a la plantas de mezcla asfáltica realizar gestión de sus residuos. Para ocupar los residuos en la reutilización de su propia producción y reciclaje en otras industrias.

Para el Estado:

1. Se recomienda promulgar el modelo de Economía Circular en todas las organizaciones del país. Promulgando leyes y normas que abarquen todas las organizaciones para implementar a un corto plazo el modelo de Economía Circular.

#### 4.5 Futuras líneas de investigación.

Para nuevas líneas de investigación se recomienda:

1. Analizar la implementación del modelo de Economía Circular en otros sectores de la construcción distinto al de la producción de mezcla asfáltica. El sector de la construcción es uno de los sectores de producción que no se ha podido llevar a cabo el modelo de Economía Circular. Y uno de los sectores que tiene un mayor aporte de residuos y escombros a nivel industrial.
2. Ampliar el estudio a otros países de Latinoamérica. Para indagar en el concepto de Economía Circular.
3. Investigar sobre la influencia del modelo de Economía Circular en el rubro de la construcción.
4. Analizar la implementación del modelo de Economía Circular en la industria del hormigón en Chile.

## Referencias.

1. Abdelhak, B., Abdelmadjid, H. C., Hamza, G., & Mohamed, G. (2016). Influence of recycled aggregates on the resistance of bituminous concrete in the presence of additives. *revista Romana de Materiale-romanian journal of materials*, 46(1), 89-94.
2. Araya, F., González, Á., Delgadillo, R., Wahr, C., García, G., & Zúñiga, R. (2012). Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados utilizados actualmente en Chile. *Revista ingeniería de construcción*, 27(3), 198-210.
3. Aguilera, M. (15 de Septiembre de 2016). Ley de reciclaje: potenciando una Economía Circular, Chile. Recuperado el 18 de Marzo de 2017 15:00 hrs., de [www.aqua.cl](http://www.aqua.cl): <http://www.aqua.cl/reportajes/ley-reciclaje-potenciando-una-economia-circular/>.
4. Ambiental, P. O. C. H. (2008). Informe Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero. Santiago de Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente Conama.
5. Androjić, I., & Kaluđer, G. (2013). Cold recycling of asphalt pavements using foamed bitumen and cement. *Građevinar*, 65(05.), 463-471.
6. Androjić, I., Kaluđer, G., & Komljen, M. (2012). Use of recycled asphalt in the bituminous base course. *Građevinar*, 64(05.), 395-401.
7. Alarcón Ibarra, J. (2003). Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. *Universitat Politècnica de Catalunya, España*.
8. Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1997). La construcción sostenible: el estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 49(451), 41-47.
9. Balboa, C. H., & Somonte, M. D. (2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador técnico*, 78(1), 82-90.
10. Cabrera, A. (2014). Producción de Asfaltos, Aglomerados y Emulsiones. Estudio de Mercado. Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil.

11. Campos Canessa, J. A. (2008). Seguimiento y Comparación del Comportamiento de Tramos con Mezcla Drenante, según Zona Geográfica y Condiciones Locales. Universidad de Chile facultad de cs. Físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil, Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil.
12. Informe, M. A. C. H. (2016). Macroeconomía y Construcción. Cámara Chilena de la Construcción. Santiago, Chile (33).
13. Castillo, E., Acevedo, L., & Orduz, J. (2000). Perfil tecnológico ambiental de la industria de mezclas asfálticas en Colombia. *Revista ion*, 16(1), 84-91.
14. Chacin, J., & Abreu, Y. J. (2015). Logística Verde y Economía Circular Green Logistics and Circular Economics. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 10(3), 80-91.
15. Chaffin, J. M., Liu, M., Davison, R. R., Glover, C. J., & Bullin, J. A. (2000). Supercritical fractions as asphalt recycling agents and preliminary aging studies on recycled asphalts. *Industrial & engineering chemistry research*, 36(3), 656-666.
16. Cerda, E. & Khalilova, A. (2016), Economía Circular. *Revista Estrategia y Competitividad Empresarial*, 18(2), 6-12.
17. Coppola, L., Kara, P., & Lorenzi, S. (2016). Concrete manufactured with crushed asphalt as partial replacement of natural aggregates. *Materiales de Construcción*, 66(324), 101.
18. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo Gobierno de Chile, *Construye 2025* (08 de Agosto de 2017). Programa Chile Transforma 2017 Construcción. Recuperado el 25 Diciembre de 2017 18:44 hrs. de [www.chiletransforma.cl](http://www.chiletransforma.cl): <http://www.chiletransforma.cl/2017/08/12/programa-estrategico-construye-2025/>
19. Delgadillo, R., Segovia, M., Wahr, C., & Thenoux, G. (2016) Superpave zoning for Chile Zonificación superpave para Chile. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 32(2), 25-36.
20. del Barco-Carrión, A. J., García-Travé, G., Moreno-Navarro, F., Martínez-Montes, G., & Rubio-Gámez, M. C. (2016). Comparison of the effect of recycled crumb rubber and polymer concentration on the performance of binders for asphalt mixtures. *Materiales de Construcción*, 66(323), 90.

21. del Val, M. Á., & Boccaleri, S. R. (1998). Informe Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados" in situ" en frío. Probisa. Chile
22. Domitrović, J., Rukavina, T., & Dimter, S. (2016). Properties of unbound base course mixes with recycled asphalt. *Građevinar*, 68(04.), 269-277.
23. European Commission, (11 de Septiembre de 2013). European Union: Communication from the commission to the European parliament, the council, The European economic and social committee and the committee of the regions. Recuperado el 13 de Febrero de 2017 10:30 hrs, de ec.europa.eu: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/communication-commission-european-parliament-council-european-economic-and-social-committee-a-0>.
24. Ellen Macarthur Foundation:(2013) Report Design out waste. Recuperado 12 de Marzo de 2017 15:30 hrs, de [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org): <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/the-circular-model-an-overview>.
25. Ekblad, J., & Lundström, R. (2017). Soft bitumen asphalt produced using RAP. *Materials and Structures*, 50(1), 13.
26. Farooq, M. A., & Mir, M. S. (2017). Use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in warm mix asphalt (WMA) pavements: a review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(1), 10.
27. Figueroa-Infante, A. S., Fonseca-Santanilla, E. B., & Reyes-Lizcano, F. A. (2009). Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. *Ingeniería y universidad*, 13(1), 3.
28. Frigio, F., Stimilli, A., Virgili, A., & Canestrari, F. (2017). Performance Assessment of Plant-Produced Warm Recycled Mixtures for Open-Graded Wearing Courses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2633), 16-24.
29. Fundacion ProHumana, (2016), Los desafíos que implican la Economía Circular para Chile. Recuperado el 13 de Febrero de 2017 11:00 hrs, de [www.prohumana.cl](http://prohumana.cl): <http://prohumana.cl/2016/06/los-desafios-que-implica-la-economia-circular-para-chile/>

30. Gandi, A., Carter, A., & Singh, D. (2017). Rheological behavior of cold recycled asphalt materials with different contents of recycled asphalt pavements. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(1), 45.
31. García, S. (2016). Economía circular: la Unión Europea impulsa reformas sobre la base de un tema crucial, la gestión de residuos, con el fin de alcanzar mejoras económicas y medioambientales. *Actualidad Jurídica Ambiental*, (57), 26-36.
32. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, (114), 11-32.
33. Guerrero Pacheco, J. P. (2014). Estudio de impacto ambiental de las emisiones atmosféricas de la chimenea en planta de asfalto en el municipio de Surata, Santander. Universidad Militar Nueva Granada, España. Tesis para optar al grado de Ingeniería Civil.
34. Hermida, C. & Dominguez, M. (2013). Circular economy as an ecodesign framework: the ECO III model. *Informador Técnico*, 78(1), 82-90.
35. Hernández, L. R. (2012). Metodología de la investigación en ciencias de la salud. Ecoe Ediciones.
36. Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X., & Egan, B. (2005). Laboratory investigation of mixing hot-mix asphalt with reclaimed asphalt pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1929), 37-45.
37. Huang, Y., Bird, R. N., & Heidrich, O. (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), 58-73.
38. Huang, B., Shu, X., & Burdette, E. G. (2006). Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt pavements. *Magazine of Concrete Research*, 58(5), 313-320.
39. Instituto Nacional de Estadística Chileno. (2016) Informe Sectores Económicos 2016, Instituto Nacional de Estadística, (32) 209-212.
40. Jafar, J. J. (2016). Utilisation of waste plastic in bituminous mix for improved performance of roads. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 243-249.

41. Jayakody, S., Gallage, C., & Kumar, A. (2014). Assessment of recycled concrete aggregates as a pavement material. *Geomechanics and Engineering*, 6(3), 235-248.
42. Jerez Niño, O. M. (2007). Informe. Diseño de alternativas de producción más limpia para la operación de la planta de asfalto de la Superintendencia de Operaciones Apiay Ecopetrol SA. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Colombia.
43. Kabir, S., Al-Shayeb, A., & Khan, I. M. (2016). Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for Sustainable Construction Materials. *Procedia Engineering*, 145, 1518-1525.
44. Kavussi, A., & Hashemian, L. (2012). Laboratory evaluation of moisture damage and rutting potential of WMA foam mixes. *International Journal of Pavement Engineering*, 13(5), 415-423.
45. Kandhal, P. S., & Mallick, R. B. (1998). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments: Participant's Reference Book* (No. FHWA-SA-98-042).
46. Kim, S., Park, J., Lee, S., & Kim, K. W. (2014). Performance of modified WMA Mixtures prepared using the same class pg binders of HMA mixtures. *Journal of Testing and Evaluation*, 42(2), 347-356.
47. Kök, B. V., & Çolak, H. (2011). Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3204-3212.
48. Lesme Brun, J. G. (2015). Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas tibias (mezclas templadas) empleando emulsiones súper-estabilizadas. Título Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
49. Lett, L. A. (2014). Global threats, waste recycling and the circular economy concept. *Revista Argentina de microbiología*, 46(1), 1.
50. López, A. V. (2016). Economía circular en los prefabricados de hormigón: hacia el objetivo 'cero residuos'. *Revista Técnica*, (976), 83.
51. Mahedi, M., Sahadat Hossain, M., Faysal, M., & Khan, M. S. (2017). Potential Applicability of Impact Echo Method on Pavement Base Materials as a Nondestructive Testing Technique. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2657), 47-57.

52. Mahmoud, E., Ibrahim, A., El-Chabib, H., & Patibandla, V. C. (2013). Self-consolidating concrete incorporating high volume of fly ash, slag, and recycled asphalt pavement. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7(2), 155-163.
53. Mallick, R., Kandhal, P., & Bradbury, R. (2008). Using warm-mix asphalt technology to incorporate high percentage of reclaimed asphalt pavement material in asphalt mixtures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2051), 71-79.
54. Martínez Díaz, M., Pérez Pérez, I., & Romera, L. (2013). Review of warm mix asphalt new technologies. *Dyna*, 88(3), 334-343.
55. Moon, K. H., Falchetto, A. C., Marasteanu, M., & Turos, M. (2014). Using recycled asphalt materials as an alternative material source in asphalt pavements. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 149-159.
56. Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380.
57. Ministerio de Obra Pública Chile, (2013) Informe. Programas de Conservaciones viales. Informe final de evaluación.
58. Navea, C. A. G. (2010). Formulación de un Modelo de Optimización para la Gestión de Sedimentos en la Zona Alta del Río Maipo. Universidad de Chile facultad de cs. físicas y matemáticas departamento de Ingeniería Civil, Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil.
59. Ordaz, G. I. G., & Vargas-Hernández, J. G. (2017) La Economía Circular como factor de la responsabilidad social. *Revista de temas de coyuntura y perspectiva*. 2(3), 105-130.
60. Osorio, L., Rodrigo, D., & Whar, C. (2015). Caracterización y análisis de la estadística Chilena para el diseño de pavimentos empírico-mecanicista. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 5, 09-19.
61. Palma, C. V., Cisneros, J. C. O., Belmonte, F. Á., & Facio, A. C. (2016). Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. *Afinidad*, 73(574).
62. Paranhos, R. S., & Petter, C. O. (2013). Multivariate data analysis applied in Hot-Mix asphalt plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 1-10.

63. Peng, B., Cai, C., Yin, G., Li, W., & Zhan, Y. (2015). Evaluation system for CO2 emission of hot asphalt mixture. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2(2), 116-124.
64. Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., & Taibo, J. (2007). Mechanical properties of hot mix asphalt made with recycled aggregates from reclaimed construction and demolition debris. *Materiales de Construcción*, 57(285), 17-29.
65. Pérez Pérez, I., Gallego Medina, J., Toledano, M., & Taibo Pose, J. (2010). Asphalt mixtures with construction and demolition debris. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. 163(4) 165-174.
66. Potti, J. Jose. (2014) *La Economía Circular*. Desarrollo de la línea editorial. *Asfalto y Construcción*. 14(4), 11-17.
67. Ramírez, E., & Galán, L. (2006). El ecodiseño como herramienta básica de gestión industrial. In *XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Universidad de Sevilla, España.
68. Restrepo Sierra, H. A., & Stephens Zapata, S. A. (2016). Reciclaje de pavimentos: estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos. Título de Especialista en vías y Transporte, Universidad de Medellín, Colombia.
69. Reyes Ortíz, O. J., Fuentes Pumarejo, L. G., & Moreno-Torres, O. H. (2013). Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras. *Ingeniería y Desarrollo*, 31(1). 161-178.
70. Rubio, M. C., Menéndez, A., Moreno, F., Belmonte, A., & Ramirez, A. (2011). Mechanical properties of hot bituminous mixes manufactured with recycled aggregate of Silestone® waste. *Materiales de Construcción*, 61(301), 49-60.
71. Roberts, H., & Robinson, G. (1999). *ISO 14001 EMS: manual de sistemas de gestión medioambiental*. Editorial Paraninfo.
72. Rodríguez, R. A. A., & Ayala, J. L. D. (2005). *Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos*. Doctoral disertación, Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
73. Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., & Fernández Gómez, W. D. (2017). Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1). 121-133.

74. Rosales M. D. J., Villarreal A. R. & Castro J. C (2017). Evaluación de las fuentes de emisiones contaminantes en plantas de mezclas de asfalto en caliente. *fuentes*, 14(255), 615.
75. Santiago, J. L. G., Ochoa, F. J. L., Lubricantes, R., & Especialidades, S. A. (2014). Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados. *Asfalto y Pavimentación*, 14(4), 51-65.
76. Sanchez-Alonso, E., Castro-Fresno, D., Vega-Zamanillo, A., & Rodriguez-Hernandez, J. (2011). Sustainable asphalt mixes: use of additives and recycled materials. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*, 6(4). 249-253
77. Salamanca Arce, G. J. (2007). Influencia de la Contaminación Salina en el Envejecimiento Prematuro de Mezclas y Tratamientos Asfálticos. Universidad de Chile facultad de cs. físicas y matemáticas departamento de ingeniería Civil, Tesis para optar al grado de Ingeniero Civil.
78. Salem, Z. T. A., Khedawi, T. S., Baker, M. B., & Abendeh, R. (2017). Effect of Waste Glass on Properties of Asphalt Concrete Mixtures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 11(1).
79. Sarabia-Guarin, A., Sánchez-Molina, J., & Leyva-Díaz, J. C. (2017). Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular. *Respuestas*, 22(1), 6-16.
80. Sengoz, B., Topal, A., Oner, J., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., & Kok, B. V. (2017). Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Mixtures with Recycled Asphalt Pavement. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 61(1), 117.
81. Severance, R., Porot, L., Felipo, J., & López, J. (2014). Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas. *Asfalto Y Pavimentación*, 14(4), 39-49.
82. Shahadan, Z., Hamzah, M. O., Yahya, A. S., & Jamshidi, A. (2013). Evaluation of the dynamic modulus of asphalt mixture incorporating reclaimed asphalt pavement. *12(2)*, 29-35.
83. Sintés Moya, M. (2004). Estudio del efecto de la incorporación de material granular en el reciclado con emulsión de pavimentos asfálticos, mediante el empleo del compactador giratorio. Título Ingeniero de Camino, canales y puertos, Universidad Politècnica de Barcelona.
84. Tang, B., & Isacson, U. (2006). Chemical characterization of oil-based asphalt release agents and their emissions. *Fuel*, 85(9), 1232-1241.

85. Tao, M., & Mallick, R. (2009). Effects of warm-mix asphalt additives on workability and mechanical properties of reclaimed asphalt pavement material. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2126), 151-160.
86. Thenoux, G., & Garcia, G. (2011). Estudios de Técnicas de Reciclado en Frío: Segunda Parte (Etapas de Proyecto de Reciclado en Frío con Emulsión). *Revista Ingeniería de Construcción*, 15(1), 5-17.
87. Thenoux, G. J., & JAMET, A. (2002). Tecnología del asfalto espumado y diseño de mezcla. *Revista Ingeniería de Construcción*.2 (1), 20-27.
88. Ulloa-Calderón, A. (2011). Informe Mezclas asfálticas tibias (MAT). Programa de infraestructura del transporte PITRA Boletín Técnico. Madrid España.
89. Valdez, G. A., Martínez, A. H., & Perez-Jimenez, F. E. (2008). Estudio de variabilidad en mezclas asfálticas en caliente fabricadas con altas tasas de material asfáltico reciclable (RAP). *Revista de la Construcción*, 7(1). 12-23.
90. Vasquez, A. Cristina. (2016) Modelo para la implementación de un sistema de logística inversa como parte de la economía Circular. Trabajo de Fin de Master de ingeniería avanzada de producción, logística y cadena suministro. Universidad Politécnica de Valencia.
91. Wasiuddin, N., Selvamohan, S., Zaman, M., & Guegan, M. (2007). Comparative laboratory study of sasobit and aspha-min additives in warm-mix asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1998), 82-88.
92. World Economic Forum, (2014), Informe Global Risks Ninth Edition “Committed to improving the state of the world.
93. World Economic Forum. MacArthur, E. (2014). Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains. In World Economic Forum, Geneva. <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>.
94. Wang, D. C., Li, Y. M., & Wang, Q. (2012). Discussion on Pavement Recycling Techniques in China. In *Advanced Materials Research* (415), 1749-1754.
95. Yang, R., & Al-Qadi, I. L. (2017). Development of a Life-Cycle Assessment Tool to Quantify the Environmental Impacts of Airport Pavement



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos

Construction. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2603), 89-97.

## 5. Anexos.

### Tabla de contenido de Ilustraciones.

ILUSTRACIÓN 1 COMPARACIÓN ENTRE ECONOMÍA LINEAL Y ECONOMÍA CIRCULAR, ELABORACIÓN PROPIA.....	16
ILUSTRACIÓN 2 DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN LINEAL DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	28
ILUSTRACIÓN 3 EMISIÓN DE KGCO <sub>2</sub> / TON ASFALTO SEGÚN TIPO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	53
ILUSTRACIÓN 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72

### Tabla de contenido de Tablas

TABLA 1 SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	34
TABLA 2 PRINCIPIOS Y ACCIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	36
TABLA 3 FACTORES DE EMISIÓN ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	52
TABLA 4 SUB ETAPAS EN LA ETAPA DE METODOLOGÍA Y TEÓRICA CON SUS RESPECTIVOS OBJETIVOS.....	58
TABLA 5 CONSTRUCTOS Y VARIABLES DE LA ENCUESTA.....	61
TABLA 6 MATRIZ PARA LA ELABORACIÓN DE PREGUNTAS.....	62
TABLA 7 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVO DE PREGUNTAS DE CARACTERIZACIÓN.....	66
TABLA 8 DISPERSIÓN DE RESPUESTA DE PUESTO QUE DESEMPEÑA.....	67
TABLA 9 DISPERSIÓN DE RESPUESTA DE LOCALIDAD REGIÓN DE CHILE.....	68
TABLA 10 DISPERSIÓN DE PRODUCCIÓN MENSUAL DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	69
TABLA 11 DISPERSIÓN DE TIPOS DE PLANTAS ASFÁLTICA.....	70
TABLA 12 PRINCIPIOS Y VARIABLES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	73
TABLA 13 FRECUENCIA Y MODA.....	81
TABLA 14 PORCENTAJE DE RESPUESTAS.....	83
<b>TABLA 15 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS REDUCCIÓN MP.....</b>	<b>89</b>
TABLA 16 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS DISMINUCIÓN DE RESIDUOS.....	91
TABLA 17 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS EQUILIBRIO ENERGÉTICO.....	92
TABLA 18 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS EMISIONES CONTAMINANTES.....	94
TABLA 19 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS MANTENER COSTOS.....	95
TABLA 20 PRUEBAS CHI – CUADRADO LOCALIDAD VS VALOR DEL PRODUCTO.....	97
TABLA 21 PRUEBAS HIPÓTESIS 1 CHI – CUADRADO.....	99
TABLA 22 PRUEBAS HIPÓTESIS 2 CHI – CUADRADO.....	100
TABLA 23 PRUEBAS HIPÓTESIS 3 CHI – CUADRADO.....	101
TABLA 24 TABLAS DE CORRESPONDENCIA ANÁLISIS.....	102
TABLA 25 RESUMEN DE ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA.....	103
TABLA 26 PUNTOS DE FILA ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA “VARIABLES”.....	104
TABLA 27 PUNTOS DE COLUMNA ANÁLISIS CORRESPONDENCIA “ATRIBUTOS”.....	105
TABLA 28 RESUMEN REGRESIÓN LINEAL.....	108
TABLA 29 RESUMEN ANOVA.....	108

## Tabla de contenido de Gráficos.

GRAFICO 1 DISTRIBUCIÓN DE LA RED VIAL DE CHILE. ....	29
GRAFICO 2 DISTRIBUCIÓN DE LOS CAMINOS PAVIMENTADOS DE CHILE. ....	29
GRAFICO 3 PUESTO QUE DESEMPEÑA. ....	67
GRAFICO 4 REGIONES DE CHILE LOCALIDAD. ....	69
GRAFICO 5 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MENSUAL.....	70
GRAFICO 6 TIPOS DE PLANTAS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	71
GRAFICO 7 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	90
GRAFICO 8 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “DISMINUCIÓN DE RESIDUOS”.....	91
GRAFICO 9 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “EQUILIBRIO ENERGÉTICO”.....	93
GRAFICO 10 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “EMISIONES CONTAMINANTES”.....	94
GRAFICO 11 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “MANTENER COSTOS”. ....	96
GRAFICO 12 DISPERSIÓN DE LA VARIABLE “VALOR DEL PRODUCTO”.....	97
GRAFICO 13 PUNTOS DE FILA Y COLUMNAS DE ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA.....	106

**Anexo de encuesta.**

## **Gestión de la Economía Circular en la producción de mezcla asfáltica en Chile.**

La universidad Politécnica de Valencia (España). Está llevando a cabo esta investigación, en la cual se estudia La industria de producción de mezcla asfáltica en Chile, bajo sus características se puede considerar como un proceso de ciclo cerrado de Economía Circular.

A nivel mundial surge el concepto de Economía Circular el cual tiene como objetivo crear un proceso cíclico tipo natural de la producción industrial a través de una gestión de residuos de la producción. En donde los residuos sean reincorporados en la producción o sean reciclados en otras producciones.

El objetivo de esta encuesta es identificar si la gestión de producción de mezcla asfáltica chilena se puede considerar como una Economía Circular. Con la finalidad de validarla como un sistema de Economía Circular o proponer recomendaciones sobre la implementación de este concepto en esta industria de la mezcla asfáltica.

Su colaboración es muy importante. Las respuestas serán confidenciales y anónimas. La información obtenida será utilizada únicamente para fines académicos. Agradecemos que conteste este cuestionario con la mayor sinceridad posible. No hay respuestas correctas ni incorrectas. Responder esta encuesta le tomara aproximadamente 10 minutos.

**1. 1. Puesto de trabajo que desempeña:**

*Selecciona todos los que correspondan.*

- Jefe de planta
- Jefe de Operaciones
- Encargado de Planta
- Supervisor de planta
- Gerente de Producción

**2. 2. Localidad (Región de Chile):**

*Selecciona todos los que correspondan.*

- XV Arica y Parinacota
- I Tarapaca
- II Antofagasta
- III Atacama
- IV Coquimbo
- V Valparaiso
- VI Libertador General Bernardo O'higgins
- VII Maule
- VIII Bio Bio
- IX Araucania
- XIV De los Rios
- X De los Lagos
- XI Aysen
- XII Magallanes
- Región Metropolitana

**3. 3. Producción promedio mensual de mezcla asfáltica:**

*Selecciona todos los que correspondan.*

- <500 Toneladas
- 500-2000 Toneladas
- 2000-7000 Toneladas
- 7000-10000 Toneladas
- >10000 Toneladas

**4. 4. Tipo de planta asfáltica:**

*Marca solo un óvalo.*

- Planta asfáltica Continua
- Planta asfáltica Discontinua

**5. 5. ¿Conoce usted el concepto de Economía Circular?**

*Marca solo un óvalo.*

- Sí, solo lo he leído en los medios de comunicación
- Sí, lo tratamos de implementar en nuestra organización
- Sí, a través de programas de gobiernos
- No, nunca lo he escuchado

**6. 6. ¿Conoce usted alguna de estas normas medio ambientales vigentes en Chile?**

*Marca solo un óvalo.*

- Decreto supremo 745 Condiciones Sanitarias y medio ambientales básica del trabajo.
- Ley 20,879 del año 2015 del gobierno de Chile. Sanciones de transporte de residuos
- Ley 20,920 del año 2016 del gobierno de Chile. Ley de reciclaje y responsabilidad extendida del productor
- Normas Ambientales ISO 14000

**7. 7. En la producción de mezcla asfáltica, ¿realizan algún método de reducción de materias primas?**

*Marca solo un óvalo.*

- Reutilización del residuo de mezcla asfáltica (RAP)
- Utilización de desechos de construcción
- Utilización de desechos de caucho o plástico
- No se realiza ningún método

**8. 8. ¿Cuál son sus necesidades para reducir las materias primas (Cemento asfáltico - Áridos) de la producción de mezcla asfáltica?**

*Marca solo un óvalo.*

- Necesidades de Costo en materias primas
- Necesidades medio ambientales
- Necesidades de escasez de materia primas
- No se necesita reducir

**9. 9. En su producción de Mezcla asfáltica, ¿Existe una gestión del residuo asfáltico RAP?**

*Marca solo un óvalo.*

- Si, se gestiona internamente en la empresa
- Si, se subcontrata la gestión de residuos
- No, en ningún caso
- Solo si el cliente lo requiere

**10. 10. En su producción de mezcla asfáltica la gestión de residuos, ¿Cómo se realiza?**

*Marca solo un óvalo.*

- Reutilización RAP, Incorporando el residuo asfáltico en la propia producción de mezcla asfáltica
- Reciclaje RAP, Incorporando el residuo asfáltico en una producción distinta a la mezcla asfáltica
- Reutilización y reciclaje del RAP
- No se utiliza el residuo de mezcla asfáltica.

**11. 11. En el caso de reutilización del residuo asfáltico, ¿Qué porcentaje es reincorporado en la producción?**

*Marca solo un óvalo.*

- 10%-20%
- 20%-30%
- 30%-40%
- <50%

**12. 12. ¿Cuál es la necesidad de la disminución de residuos en la producción de mezcla asfáltica?**

*Marca solo un óvalo.*

- Regularizaciones legales (Normas y leyes)
- Reducción de costo de producción
- Disminución de demanda de materias primas
- No existen necesidades

**13. 13. ¿Posee algún método eficiente de equilibrio energético en la producción de mezcla asfáltica?**

*Marca solo un óvalo.*

- Si, A través de combustibles ecológicos
- Si, A través de producción de mezclas asfálticas tibias
- Solo si el cliente lo solicita
- No, en ningún caso,

14. **14. En su producción de mezcla asfáltica para mantener el equilibrio energético ¿Qué producción de mezcla realiza?**

*Marca solo un óvalo.*

- Mezclas asfálticas tibias con modificación de aditivos orgánicos
- Mezclas asfálticas tibias con modificación de aditivos químicos
- Asfalto espumado
- Solo se realizan mezcla asfáltica convencionales

15. **15. ¿Qué porcentaje de producción de mezclas tibias con respecto a mezclas asfáltica en caliente convencional produce en su planta de asfalto?**

*Marca solo un óvalo.*

- menor a un 10% de la producción de mezcla asfáltica en caliente
- entre un 10% a 30% de la producción de mezcla asfáltica en caliente
- entre un 30% a 50% de la producción de mezcla asfáltica en caliente
- No realizamos este tipo de mezclas asfálticas (Mezclas asfálticas tibias)

16. **16. En su producción de mezcla asfáltica, ¿Realiza alguna acción para reducir las emisiones contaminantes (Monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos nitrógenos)?**

*Marca solo un óvalo.*

- Si, a través de gestiones de materias primas previas
- Si, a través de la distribución de materiales de producción
- Si, a través de la presión de secado y el secado de los agregados pétreos
- No se realizan acciones para reducir las emisiones contaminantes.

17. **17. ¿Qué tipo de combustible ocupan en la producción de mezcla asfáltica?**

*Marca solo un óvalo.*

- Tipo solido Carbón
- Tipo líquido diesel
- Tipo líquido Biodiesel
- Tipo gaseoso Gas natural

18. **18. ¿Utiliza algún tipo de innovación tecnológica en la producción de mezcla asfáltica para reducir las emisiones contaminantes?**

*Marca solo un óvalo.*

- Si, a través de nuevos procesos de producción (mezclas tibias)
- Si, a través de nuevos combustibles
- Si, a través de una gestión de residuos y materias primas.
- No en ningún caso

19. **19. La variación del costo en la producción de mezcla asfáltica en Chile, ¿se debe principalmente?**

*Marca solo un óvalo.*

- Variación de los costó de materias primas
- Elevados costos de combustibles
- Elevados costos de mano de obra
- No posee grandes variaciones

**20. 20. ¿Cuál es el principal objetivo como productor de mezcla asfáltica?**

*Marca solo un óvalo.*

- Generar una mayor cantidad de toneladas a un menor costo de producción
- Generar un valor añadido en la producción de mezcla asfáltica
- Cubrir las necesidades del cliente
- Generar una mayor cantidad de toneladas con un resguardo medio ambiental

**21. 21. Como productor de mezcla asfáltica ¿Cuál cree que es el valor agregado de producción que posee?**

*Marca solo un óvalo.*

- Reutilización de desecho asfáltico RAP
- Reciclado de desecho asfáltico RAP
- Utilización de desechos de otras industrias en la producción de mezcla asfáltica
- Producción de mezclas asfálticas tibias

**22. 22. ¿Conoce usted algún incentivo de procesos productivos sustentable del gobierno de Chile?**

*Marca solo un óvalo.*

- Sí, existe una conciencia ecológica
- Sí, por medios de normas medio ambientales
- Sí, para abaratar costos de producción
- No, en ningún caso

**23. 23. ¿Cuál cree usted que es una de las principales barreras de implementación de un sistema de producción cíclico en el cual se gestionen los residuos y no se transformen en desechos?**

*Marca solo un óvalo.*

- Por el transporte de los residuos (Dispersión Geográfica)
- No saber el ciclo de vida de la mezcla asfáltica para obtener el residuo (Clasificación de la cadena de suministros)
- Gestión del residuo RAP (Fugas provocadas por el incremento de materiales)
- No innovar y seguir en proceso de producción lineal en el cual no se considera la gestión de residuos



