



PROYECTO DE TESIS MHSEE - UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

TITULO:

Estudio de la carga ambiental asociado a huella energética y aporte al calentamiento global para ciclo de vida de la cuna a la puerta de materiales de construcción

Caso estudio: Madera aserrada de Pino Radiata de la región del Biobío

NOMBRE: Rodolfo Puchi Quevedo

PROF. GUIA: Dra. (c) Mabel Vega Coloma

Concepción, 12 de Enero de 2017



ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	5
1.1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA	5
1.2. RELEVANCIA DEL PROBLEMA	7
1.3. HIPÓTESIS.....	8
1.4. PALABRAS CLAVES:.....	8
2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS.....	9
2.1. Objetivo general	9
2.2. Objetivos específicos	9
3. MARCO TEÓRICO.....	10
3.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	10
3.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.	12
3.2.1 METODOLOGÍAS PARA EL CALCULO DE GEI: HUELLA DE CARBONO E INVENTARIO DE GEI... 14	
3.2.1.1 INVENTARIO DE GEI.....	14
3.2.1.2 HUELLA DE CARBONO.	15
3.3 CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	16
3.3.1 CONSUMO DE ENERGÍA.....	16
3.3.2 ESTRATEGIA NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE.....	19
3.3.2.1 CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	19
3.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: MADERA ASERRADA PINO RADIATA	20
3.4.1 ECODISEÑO	27
3.4.1.1 DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO.....	29
4. METODOLOGÍA	32
4.1 CASO DE ESTUDIO	32
4.2.1 OBJETIVO	32
4.2.2 LÍMITES DEL SISTEMA	32
4.2.3 UNIDAD FUNCIONAL	34
4.2.4 PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN.....	34
4.2.5 CATEGORÍAS DE IMPACTO	34



4.2.6 REQUISITOS DE CALIDAD DE DATOS	34
4.2.7 SUPUESTOS	35
5. RESULTADOS “CASO DE ESTUDIO”	36
5.2. Análisis del ICV	36
5.2.1 Proceso de aserrío	36
5.2.1.1 Transporte de materia prima 200.000 m3 - consumo diésel.	36
5.2.1.2 Descortezado y dimensionamiento de materia prima - consumo eléctrico.	45
5.2.1.3 Transporte de materia prima 50.000 m3 - consumo diésel.	53
5.2.2 Proceso de secado.	56
5.2.2.1 Consumo de biomasa.	56
5.2.2.2 Transporte de cenizas - consumo diésel.	58
5.2.3 Proceso de Remanufactura	59
5.2.3.1 Manufactura - Consumo eléctrico	60
5.3 Procesamiento de datos consumo energía.....	62
5.4 Validación de la producción	64
5.5 Resumen consumo energía por producto y subproducto.....	65
5.6 Validación de datos consumo energía	66
5.7 Sensibilización de los datos	68
5.8 Cálculo de emisiones de CO ₂	70
5.9 Validación datos de emisiones CO ₂	72
6. RESULTADOS “CASO DE REFERENCIA”	75
6.1 CONSUMO DE ENERGÍA.....	76
6.2 CÁLCULO HUELLA DE CARBONO	80
7. COMPARACIÓN “CASO DE ESTUDIO” Y “CASO DE REFERENCIA”	82
7.1 PROCESO DE ASERRÍO	82
7.1.1 Consumo de diésel y transporte de materia prima	82
7.1.2 Consumo eléctrico.	84
7.2 PROCESO DE SECADO	87
7.2.1 Consumo de biomasa	87
7.2.2 Consumo de electricidad	89
7.2.3 Consumo de diésel.....	89
7.3 PROCESO DE MANUFACTURA	90



7.3.1 Consumo eléctrico	90
8. CONCLUSIONES	97
8.1 APORTES DE LA INVESTIGACIÓN	100
9. BIBLIOGRAFÍA	102
10. ANEXO A: CONSUMO DE DIESEL POR RANGO DE KILÓMETROS.....	107
11. ANEXO B : CONSUMO ANUAL DE COMBUSTIBLE Y MATERIA PRIMA.....	110
12. ANEXO C	119

1. ANTECEDENTES

1.1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

A nivel global, la industria de la construcción tiene un gran impacto a nivel económico y medioambiental. En relación al medio ambiente la generación de emisiones, uso del agua, consumos de energía y residuos que este sector productivo genera no es de menor importancia. Así también, es la encargada de emplear al 10% de la fuerza laboral a nivel mundial, aspecto importante puesto que para el año 2030 se espera un aumento de 2 millones de habitantes urbanos, concentrándose principalmente en ciudades de Asia, África y América Latina, lo que apremia la necesidad de un desarrollo sostenible. (Programa UNEP, 2015).

En esa línea Chile no se encuentra tan distante. La industria de la construcción representa el 7,8% del PIB nacional, además de estar asociado su crecimiento con el consumo energético (Ministerio de Energía, 2013). Es por ello, y de acuerdo a la Comisión Nacional de Energía (2010) el sector de la construcción consume 26% de la energía, además del 33 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Ministerio de Medio Ambiente, 2012) y un 34% del total de residuos sólidos (Corporación Nacional del Medio Ambiente, 2010). Es por ello, dada la importancia que tiene la construcción desde el punto de vista económico y todo lo que implica para el desarrollo, es que se debe poner especial atención al aspecto medioambiental, puesto que sería el foco que tendría un mayor impacto.

En relación a lo anterior, resulta urgente la implementación de planes de gestión ambiental que permitan la optimización de recursos y cuidado del medio ambiente. Ahora bien, ante esto surge la necesidad de contar con procedimientos estandarizados de gestión ambiental a fin de que los resultados obtenidos sean comparables entre sí. En ese sentido, la creación de normativas ISO 14040:2006 e ISO 14.044:2006 entregan los principios, el marco de evaluación y técnica para realización del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), metodología fundamental para determinar la carga ambiental que los procesos productivos generan. Sin embargo, para la creación de políticas propias a cada contexto es sin duda necesaria la elaboración de normativas que se alineen con los objetivos que cada gobierno estipula.

En relación a lo anterior, en Chile no hay una normativa que defina criterios de sustentabilidad para la evaluación de proyectos. La primera iniciativa formal nace el año 2012 mediante la firma de un acuerdo marco de colaboración entre el Ministerio de Obras Públicas (MOP), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Ministerio de Energía y el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), con el objeto de coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sostenible en el país (Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, 2013). En consecuencia, se puede entender como un avance para contribuir a un desarrollo sustentable desde una mirada integral, lo que no podría verse como una iniciativa menor. Posteriormente, como resultado de esta iniciativa el año 2013 se elabora la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (ENCS), cuyo objetivo es trazar los principales lineamientos para impulsar la integración del concepto de desarrollo sustentable en el área de la construcción en Chile, comprometiéndose con reducir en un 12% el consumo energético y un 20% las emisiones de GEI al 2020.

En ese sentido, la incidencia que tienen los materiales de construcción utilizados en el consumo de energía y emisiones de GEI no es despreciable. La fase de extracción y fabricación de insumos materiales es significativa en el uso de energía dentro de la evaluación del ciclo de vida (ECV) alcanzando el 35% del consumo energético durante toda su vida útil, solo superado por la fase de operación de la vivienda. Por otro lado, Zabalza (2009) señala que los materiales de construcción aportan un 40% de las emisiones totales de GEI de una vivienda durante toda su vida útil.

A raíz de lo anterior, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) ha impulsado el desarrollo de iniciativas que tributen al cumplimiento de los compromisos adquiridos en la estrategia. Es por esto que en el año 2013 nace el Programa de Innovación en Construcción Sustentable (PICS), liderado por la CORFO, Cámara Chilena de la Construcción (CChC) Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) y el MINVU. Producto de esta iniciativa, y respondiendo al plan de trabajo propuesto por el PICS, el año 2013 la CORFO y CDT apoyaron proyecto denominado ECOBASE, destinado entregar información medioambiental de materiales de construcción, industria vitivinícola e industria alimentaria. Sin duda esta iniciativa se considera un gran aporte por para el desarrollo sustentable a nivel nacional, fomentando la optimización en el uso de recursos desde etapas tempranas de diseño. Así también, el año 2015 InnovaChile y CORFO apoyó al proyecto denominado ABACO UBB, con el objeto de generar una herramienta web con información ambiental detallada de materiales de construcción para proyectos de edificación en Chile. Con esto ABACO UBB realizará inventarios representativos de la realidad nacional conforme a nuestra matriz energética y bajo el estándar ISO 14.040-44:2006.

En esa línea, la información medioambiental de materiales permitiría obtener mejoras parciales que, si bien pueden reducir la huella ecológica de los edificios, no eliminan el problema de fondo: un consumo de recursos y una generación de residuos que nuestro planeta no es capaz de soportar a largo plazo (Wadel, 2010). Así también lo plantea Borsani (2011), quien señala que disponer de bases de datos y de información confiables que permitan guiar al sector de la construcción en la elección de materiales y el contar con herramientas de análisis que permitan medir el comportamiento de un material son, sin duda, instrumentos esenciales a la hora de proyectar y diseñar en pos de equilibrar y mejorar la relación con el medio ambiente.

Finalmente, nace la pregunta **¿cómo podemos construir de manera sustentable si se desconoce la carga ambiental de los materiales con los que disponemos?**

1.2. RELEVANCIA DEL PROBLEMA

La cuantificación de la carga ambiental de los materiales de construcción utilizados para edificaciones permitirá, en una primera instancia comparar los procesos productivos locales con los observados en otros contextos, visualizando posibles brechas y oportunidades de desarrollo.

Además, contribuirá a formular las bases para determinar que construcciones puedan ser consideradas eficientes y cuales no desde el punto de vista de sus materiales componentes. Asimismo, permitirá fomentar la certificación de edificios del punto de vista medioambiental, lo que influirá directamente en la toma de decisiones que el proyectista realice para el diseño de la edificación. Igualmente, ayudará a disminuir las asimetrías de información entre usuarios y proveedores, permitiendo a los primeros tomar decisiones fundadas en aspectos medioambientales. Esto último está relacionado con la ecoeficiencia de la edificación, concepto ligado a la optimización de los recursos económicos y medioambientales para darle valor agregado a un bien o servicio.

Por añadidura, la cuantificación de la energía contenida y emisiones de CO₂ sería el punto de partida para una especificación de materiales más detallada. Aspectos como uso de agua y manejo de residuos son variables de suma importancia que debieran ser incluidas dentro de la información ambiental disponible a los usuarios para toma de decisiones.

También, la información referida a la carga ambiental de materiales de construcción podrá entregarles herramientas a los organismos evaluadores de proyectos como el Ministerio de Desarrollo Social, Ministerio de Obras Públicas y Ministerio de Vivienda y Urbanismo, para incorporar criterios de sustentabilidad al proceso de evaluación de proyectos, contribuyendo a los objetivos que la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable declara. Por consiguiente, esto último daría pie a que se comience a formular una normativa que regule y establezca parámetros de sustentabilidad en edificaciones, lo que sin duda sería un avance para el desarrollo sustentable a nivel nacional y un ejemplo para los demás países latinoamericanos.

1.3. HIPÓTESIS

Materiales de construcción de bajo impacto ambiental como la madera, ¿tienen asociadas cargas de energía y emisiones de CO₂?

¿Cuáles son los consumos energéticos que genera el proceso productivo y de transformación de la madera?

¿En qué etapa del proceso productivo y de transformación de la madera se generan los mayores input de carga energética?

A partir de la carga energética, ¿Cuál sería el Aporte al Calentamiento Global del proceso productivo y de transformación de la madera?

La información estipulada en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del caso de estudio permite determinar el perfil ambiental de su proceso productivo en relación a su energía contenida y aporte al calentamiento global.

1.4. PALABRAS CLAVES:

Materiales de construcción sustentable, análisis de ciclo de vida, madera pino radiata.

2. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS

2.1. Objetivo general

Determinar las cargas ambientales del proceso productivo y de transformación de la madera de pino radiata a través de su ciclo de vida de la cuna a la puerta para cuantificar su impacto ambiental asociado a la energía contenida y su aporte al calentamiento global.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1 Analizar el proceso productivo y de transformación de la madera aserrada de pino radiata para identificar los impactos ambientales asociados a su energía contenida y emisiones de CO₂.

2.2.2 Realizar Inventario de Ciclo de Vida de la cuna a la puerta de caso de estudio con la finalidad de comparar resultados obtenidos con aserradero de la región.

2.2.4 Evaluar comparativamente los resultados obtenidos de los inventarios con la finalidad de determinar las cargas de energía y emisiones de CO₂ del proceso productivo y de transformación de la madera aserrada de pino radiata en relación a sus aspectos ambientales.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Para que la vida en la tierra pueda desarrollarse con normalidad es necesario que en ella se propicien condiciones apropiadas, tal como la temperatura, siendo crucial en este punto el efecto invernadero. Éste se conoce como el fenómeno natural donde los gases de efecto invernadero atmosféricos absorben la radiación emitida por el sol y la proyectan nuevamente a la tierra manteniendo condiciones de temperatura óptimas para que la vida pueda llevarse a cabo.

La atmósfera terrestre está compuesta mayoritariamente por nitrógeno y oxígeno, elementos esenciales del aire respirable. Sin embargo, este efecto se ve mayormente influido por gases de menor presencia en la atmósfera como el vapor de agua y el dióxido de carbono. El primero es el gas que tiene una mayor incidencia en el efecto invernadero, puesto que es el encargado de captar el calor que irradia la tierra reflejándolo en todas direcciones calentando la superficie terrestre. En este punto la temperatura juega un papel crucial, ya que el aire calentado puede retener mucha más humedad lo que genera un aumento en la concentración de vapor de agua, intensificando el efecto invernadero y fomentando el calentamiento global.

Físicamente los gases de la atmósfera están sujetos a la gravedad de la tierra, agrupando a los gases más densos cerca de la superficie terrestre donde es posible distinguir dos capas: la tropósfera y la estratósfera. La primera congrega al 75% del total de la masa de la atmósfera, mientras que la estratósfera el 24%. Ésta última es la que aloja la capa de ozono, encargada de impedir el paso de la luz ultravioleta. Del total de la luz solar que llega al planeta, el 30% es reflejado hacia el espacio, el 20% es retenido por la atmósfera y el 50% restante llega a la superficie calentándola. Al calentarse la superficie terrestre, transforma la luz solar en radiación de baja energía reflejándose nuevamente hacia la atmósfera, siendo captada por el CO₂ y transformándose en la principal fuente de calor para la atmósfera. Sin el 0,03% de CO₂ presente en la estratósfera, la temperatura de la tierra oscilaría los -15°C, en vez de los 15°C que oscila bajo condiciones normales. Esto último representa la importancia del CO₂ en la superficie terrestre y como éste influye en el clima. (Caballero, M. 2016)

Desde mediados de la década del 70, científicos y climatólogos afirmaban que la evolución del clima se mantenía estable salvo normales secuencias de años fríos, cálidos, secos y lluviosos. Sin embargo, desde ese entonces la temperatura del aire en superficie comenzó a aumentar, en un principio justificado debido a las variaciones normales de temperatura a las que la tierra está sujeta. No obstante, ese incremento persistió (Cuarto informe IPCC, 2007) alcanzando el récord de temperatura desde mediados del siglo XIX entre el periodo 1995-2006. Desde entonces, comenzaron a estudiarse el impacto que tenía las actividades humanas (medio antrópico) sobre el medio ambiente y su influencia en el aumento de temperatura. Esto último corroborado empíricamente de acuerdo a mediciones realizadas entre los años 1958 a 2008, donde se observó un aumento del 22% en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), generadas a raíz de la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, materia prima fundamental para el desarrollo industrial actual (Vide, J. 2008).

Una de las consecuencias que generan las emisiones de GEI al medio ambiente, es su contribución al cambio climático, definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable”. Este problema se ve acentuado por el incremento actual en las emisiones de GEI, apreciándose un aumento de éstas en un 70% en el periodo de 1970-2004, y de un 24% en periodo 1990-2004. Sin embargo, las emisiones de estos gases se han acrecentado en diferentes tasas. Las emisiones de CO₂ han aumentado un 80% entre 1970 y 2004 (28% entre 1990 y 2004), representando el 77% de las emisiones de GEI antropogénicos en ese periodo (IPCC, 2007). Esto último es preocupante en sitios que donde ocurre el fenómeno de inversión térmica. Éste fenómeno se presenta en las noches despejadas cuando el suelo pierde rápidamente calor por radiación, enfriando el aire que entra en contacto con él más pronto que las capas superiores. Esto provoca que se genere un gradiente positivo de temperatura con la altitud, fenómeno inverso al que la troposfera comúnmente está sujeta. Ante esta situación la capa de aire caliente queda atrapada entre las 2 capas de aire frío, disminuyendo la velocidad de mezclado vertical del aire entre las dos capas a menor temperatura. Esta capa de aire es sumamente perjudicial, ya que propicia a que se concentren gases de efecto invernadero como el vapor de agua y el CO₂, perjudiciales para el calentamiento global (Salini, G. 2014)

Así también, como consecuencia del calentamiento global muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias e interacciones con otras especies, provocando importantes modificaciones a los ecosistemas, ocasionando extinciones de especies. En ese sentido, los impactos de los fenómenos climáticos como las olas de calor, sequías, inundaciones o incendios forestales, ponen en manifiesto la vulnerabilidad de algunos ecosistemas y de la actividad humana en relación a la actual variabilidad climática (IPCC, 2014).

De acuerdo a lo anterior, se proyecta que se para los próximos decenios se genere un calentamiento de 0,2 °C, lo que generaría una disminución en las superficies heladas del ártico, aumento en el nivel del mar, cambio en el régimen de precipitaciones, aumentos en la frecuencia e intensidad de fenómenos como “El Niño”. (IPCC, 2007)

Por todo lo anterior, en el año 1997 se gesta la primera iniciativa global con el objeto de administrar los gases de efecto invernadero denominado “*Protocolo de Kioto*”. En éste, 187 países se comprometieron a disminuir en al menos 5% las emisiones de GEI hasta el año 2012, tomando como referencia el año 1990. Para que el protocolo entrara en vigor, los países responsables del 55% de las emisiones deberían ratificar el acuerdo, lográndose el año 2005 tras la firma de Rusia. Luego, el protocolo vuelve a ratificarse en una segunda ocasión el año 2013 mediante la enmienda de Doha, y en este segundo periodo se propone alcanzar una reducción de un 20% de emisiones durante el periodo 2013-2020 en relación a 1990. (Unión Europea, 2015)



En una primera instancia, Chile ratificó el Protocolo de Kioto el año 2002, y aunque no tuvo compromisos de reducción de emisiones, si debió gestionar mecanismos para determinar y dar a conocer éstas con el objeto de mitigarlas. Posteriormente, en el año 2014 Chile se adhiere a la enmienda de Doha sin adquirir nuevos compromisos ni nuevas responsabilidades, puesto que el acuerdo sólo contempla obligaciones para países desarrollados.

No obstante, en noviembre del año 2015 se celebró la 21ª Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el objeto de renovar los acuerdos estipulados en el Protocolo de Kioto. Éstos últimos entrarán en vigor a partir del año 2020, y dentro de sus características destaca la responsabilidad diferenciada de cada estado en función de las capacidades respectivas de cada país y su contexto. Los compromisos acordados por cada país quedarán concertados en los INDCs, en inglés “Contribuciones previstas Determinadas a Nivel Nacional”, y son los planes de acción climática presentados por cada país en la COP21. Por otra parte, se destaca la participación de Estados Unidos y China, dos de los países más contaminantes a nivel global, significando un avance para el cuidado medioambiental a futuro.

Por otro lado, a pesar de que aún nuestro país no esté obligado a reducir sus emisiones, el acuerdo si contempla una revisión periódica y seguimiento de los acuerdos estipulados por Chile en sus INDCs: reducción de un 30% de emisiones para el año 2030 en relación al año 2007; reducción de entre un 35-45% de emisiones por unidad de PIB en relación al año 2007.

3.2 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

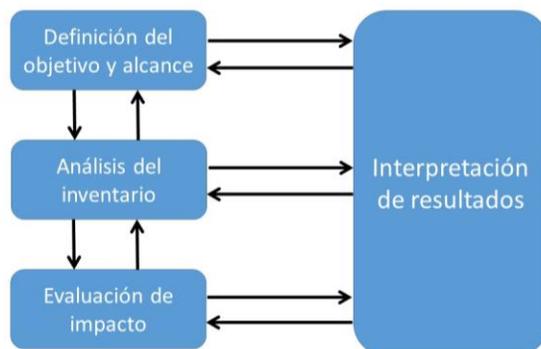
El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica utilizada para medir el impacto ambiental de un sistema, proceso o producto a lo largo de todo su ciclo de vida. El método se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema-producto, con el objeto de generar estrategias para la reducción de sus impactos ambientales.

Existen diversas categorías de impacto ambiental, y su selección dependerá del objetivo del estudio, público objetivo y nivel de exactitud de los resultados requeridos (Ihobe, 2009). Para la presente investigación, las categorías de impacto ambiental a estudiar serán el Potencial de Calentamiento Global (Huella de Carbono), medido en kg de CO₂ equivalentes y el consumo de recursos energéticos, medido en megajoules.

El ACV está normalizado por la norma ISO 14.040, que entrega los principios y el marco de referencia para su aplicación, y la norma ISO 14.044 que entrega los requisitos y directrices para su implementación.

La norma ISO establece 4 pasos para la realización de un ACV, relacionándose según la siguiente figura:

Ilustración 1: “MARCO DE REFERENCIA DE UN ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)”

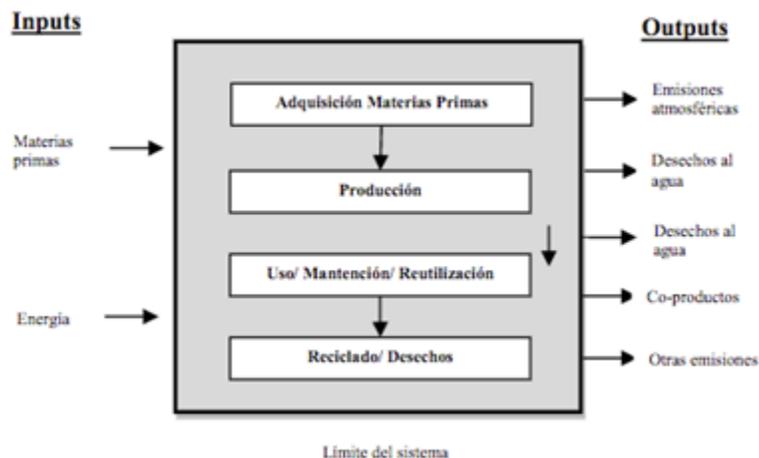


(Fuente: ISO 14.040:2006)

- *Definición objetivo y alcance:* El objetivo debe definirse indicando las razones para realizar el estudio y el público previsto a quien se comunicarán los resultados. Por otra parte, el alcance debe incluir el sistema producto a estudiar, su unidad funcional, límites del sistema, suposiciones que se tengan en cuenta y limitaciones, además de los requisitos de calidad de datos.
- *Análisis del inventario:* El análisis de inventario corresponde a la recopilación de los datos y procedimientos de cálculo para la cuantificación de las entradas y salidas asociadas al sistema producto.

El siguiente esquema representa una referencia de las entradas y salidas de un producto, así como los límites que comprende el análisis de ciclo de vida:

Ilustración 2: “ESQUEMA ENTRADAS Y SALIDAS DE UN SISTEMA PRODUCTO”



(Fuente: Hevia, R. 2014)



- *Evaluación de impacto:* La evaluación de impacto tiene como finalidad evaluar que tan significativos son los impactos ambientales en relación a los resultados obtenidos en el ICV. Esta etapa relaciona la información obtenida en el inventario con las categorías de impacto ambiental y con sus indicadores para facilitar su comprensión.
- *Interpretación:* Es la fase donde los resultados obtenidos en el ICV y en la EICV son interpretados conforme a los objetivos y el alcance indicados en un inicio, obteniendo conclusiones a partir del análisis de sus resultados.
- *Revisión de los objetivos, alcances, inventario y evaluación de impacto:* El proceso lógico para llevar a cabo un ACV es por definición recursivo, pues en muchas ocasiones no es sino hasta el momento de enfrentarse a la elaboración de uno que surgen una serie de complicaciones que obligan a redefinir el problema o sus límites.

En la práctica, resulta complejo contabilizar las entradas y salidas de un producto durante todo su ciclo de vida, principalmente por el acceso a información que se requiere recopilar para hacer una evaluación de calidad. Una de las mayores complejidades consiste en que durante el proceso del levantamiento de información de un producto usualmente convergen procesos de otras organizaciones, procesos a los que en algunos casos no es posible acceder a su información ambiental. Por ende, y bajo razones justificadas, la técnica de análisis de ciclo de vida puede utilizarse en estudios que no involucran todo el ciclo de vida, como estudios de “cuna a puerta”, de “puerta a puerta” o partes específicas del ciclo de vida. En esos casos la mayoría de los requisitos que plantea la norma ISO 14040 e ISO 14044 son aplicables siempre y cuando se alineen con los objetivos del estudio. Esto resulta fundamental para el desarrollo de esta investigación, ya que los límites del estudio se centran en observar el comportamiento ambiental de los materiales de construcción, dejando fuera las etapas de uso y disposición final o tratamiento de residuos.

3.2.1 METODOLOGÍAS PARA EL CALCULO DE GEI: HUELLA DE CARBONO E INVENTARIO DE GEI.

Para dar cumplimiento a lo ratificado en el Protocolo de Kioto en el año 2002, se hace fundamental contar con una metodología que cuantifique la emisión de GEI, pudiendo a raíz de esto desarrollar acciones o políticas para su reducción. Por consiguiente, dependiendo del sistema a estudiar, la cantidad de información disponible y los objetivos de la cuantificación de emisiones, existen dos enfoques para realizar el cálculo de emisiones de GEI: El *inventario de emisiones de GEI* y la *huella de carbono*. Ambos enfoques utilizan como base el Análisis de Ciclo de Vida para la cuantificación de sus emisiones.

3.2.1.1 INVENTARIO DE GEI.

El Inventario de GEI es un método para identificar y cuantificar las emisiones de todos los GEI provenientes de: consumo de energía eléctrica y combustibles, insumos, transporte, actividades de terceros y disposición de residuos entre otros. El método está enfocado a empresas, organizaciones, servicios o corporaciones, y su aplicación utiliza como base la norma ISO 14.064:2012. La información obtenida permite a las empresas conocer su línea base de emisiones, para luego gestionar acciones para reducir y/o compensar y comunicar resultados para añadir un valor agregado a sus servicios o productos (Ministerio de Energía, 2016).



Cabe destacar que la norma ISO 14064:2012 utiliza los principios del *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*, que fue la primera iniciativa para el cálculo de emisiones de GEI de empresas y organizaciones. Éste último nació en el año 1998 producto de una alianza entre el World Resources Institute (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD), y ofrece estándares y lineamientos para empresas y en general todas las organizaciones interesadas en desarrollar un inventario de sus emisiones de GEI. Siendo diseñado principalmente desde la perspectiva de las empresas, igualmente es aplicable a otro tipo de organizaciones o proyectos cuyos procesos productivos involucran emisiones de GEI (Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, 2014).

Dado que el foco de la presente investigación es orientar al usuario sobre las emisiones generadas a raíz del consumo de un determinado material de construcción es que se usará el enfoque y metodología para huella de carbono de productos que se define a continuación.

3.2.1.2 HUELLA DE CARBONO.

Por otra parte, la huella de carbono es una metodología para cuantificar las emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida de un producto considerando el uso de materias primas, su proceso productivo, comercialización, uso y disposición final de los residuos o reciclaje. El método permite informar al consumidor sobre las emisiones generadas a raíz del consumo de producto o la prestación de un servicio.

Actualmente existen distintas metodologías que guían la determinación de la huella de carbono, tales como:

- **Balance de carbono:** El método de Balance de Carbono fue desarrollado por la Agencia de Medioambiente y Gestión de la Energía (ADEME) de Francia el año 2002 e implementado el año 2004, y a pesar de que en un inicio su enfoque estuvo orientado a empresas, las últimas publicaciones han incluido administraciones públicas y territorio, diferenciándose de otras metodologías. Desde su génesis, el balance de carbono ajusta su política a otros métodos de gran popularidad como la norma ISO 14064 y el Protocolo de GEI, lo que junto al apoyo de subvenciones francesas, ha fomentado a que en su país sea considerada la norma a seguir (Espíndola, C. 2012). La ventaja que tiene la utilización del método por sobre otros, es que en base a sus cálculos, entrega recomendaciones para la disminución de emisiones de GEI, aspecto que no aborda el protocolo de GEI. Sin embargo, sus desventajas radican en la confiabilidad y accesibilidad a la información ambiental de empresas. Por una parte, las organizaciones deben disponer de datos confiables respecto a emisiones de sus propios procesos, aspecto que en muchas ocasiones no es posible.
- **Especificaciones públicamente disponibles (PAS 2050):** El método PAS 2050 fue desarrollado por el Instituto Británico de Normalización BSI el año 2007 junto al Consorcio del Carbono (Carbon Trust) y el departamento para el ambiente, la alimentación y asuntos rurales (DEFRA), ambos organismos ingleses. El método PAS 2050 tiene un enfoque orientado a productos, y responde a normativas internacionales como la ISO 14040 e ISO 14067 utilizando como base las técnicas de ACV permitiendo relacionar aspectos operacionales y ambientales.

Sin embargo, a pesar de acogerse a la norma ISO 14067, su metodología no incluye el cálculo de remociones de GEI.

- **Método de las cuentas contables:** El método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) fue desarrollado por Juan Luis Doménech el año 2010, teniendo como base los trabajos realizados por Wackernagel et al. (2000) donde se incorporaron todas las fuentes de emisión. En ese sentido, la incorporación de la ocupación del suelo y la huella ecológica como fuentes de emisión de CO₂ permitió incluir otras problemáticas, como el estado de los ecosistemas y la biodiversidad del territorio. Su nombre se refiere a que la totalidad de los datos se obtienen a partir de las cuentas contables de la organización, relacionando los datos económicos con la información ambiental del producto o servicio. Al ser un método compuesto, podrá abordarse tanto para un enfoque de organización o de producto, su principal atributo.

Sin embargo, frente a la variedad de normas disponibles y con el fin de establecer un estándar internacional que defina criterios y procedimientos para el cálculo y comunicación de la huella de carbono de productos, nace en el año 2013 la norma internacional ISO 14.067, utilizando como metodología el ACV de acuerdo a las normas ISO 14.040 e ISO 14.044. De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, se utilizará la norma ISO 14.067 para el cálculo de huella de carbono.

3.3 CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

3.3.1 CONSUMO DE ENERGÍA

Actualmente, tanto a nivel global como local la industria de la construcción contribuye de una manera importante al consumo de energía y la utilización de recursos naturales, generando un aumento en los impactos al medio ambiente. (Argüello, Aragüelles y Badillo, 2013)

Para la materialización de una obra de construcción es necesaria la utilización de un sinnúmero de materiales, los que interactúan entre sí para que el proyecto pueda ser llevado a cabo. Este sector consume entre un 45% y 60% de los materiales extraídos de la litósfera, obtenidos mediante la extracción de materias primas a través de procesos que alteran el medio ambiente. Su proceso de fabricación necesita de una considerable cantidad de energía, obtenida de fuentes primarias basadas en combustibles fósiles y teniendo como consecuencia la generación de residuos, emisiones al aire y al suelo (Carmona, F. 2010).

Dentro de este contexto y según Flores (2011) el cuidado de la energía y la conservación de la naturaleza se han ido posicionando como una preocupación nacional. De acuerdo a encuesta realizada el año 2010, se reveló que el 84% de los habitantes chilenos cree que el cuidado del medio ambiente es muy importante, jugando un papel significativo el ahorro energético (Mena, G. 2010). Sin embargo, a pesar del interés en el manejo eficiente de la energía, durante el periodo 1995 -2008 se observó un crecimiento paralelo entre el Producto Interno Bruto (PIB) y el consumo de electricidad de un 190%. Esto último no resulta extraño, ya que normalmente las actividades productivas utilizan la electricidad como insumo energético, repercutiendo en la energía embebida y huella de carbono de productos y servicios.

En términos de energía, en nuestro país el 99,1% de la electricidad es proporcionada por el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC). Además, el 99% de la energía eléctrica producida por el SING es a raíz de centrales termoeléctricas, mientras que la electricidad generada por el SIC se distribuye en un 56.46% por centrales hidráulicas, un 46.34% por centrales térmicas y un 0.2% por centrales eólicas.

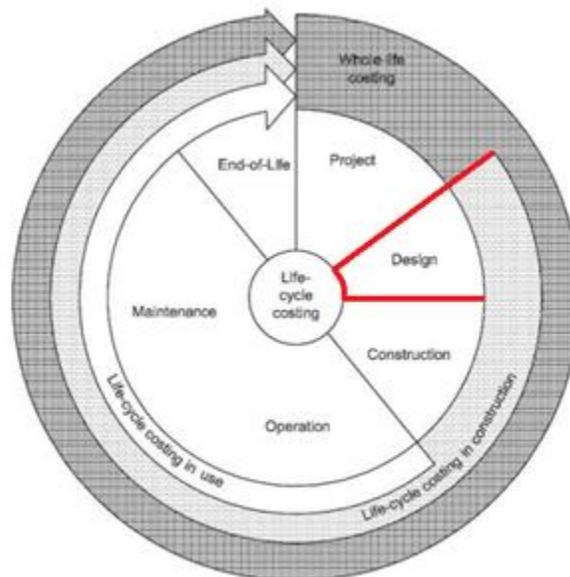
No obstante, durante los últimos 20 años esta distribución ha sufrido variaciones producto de realidades a las que nuestro país ha estado sujeto. A raíz de eventos climáticos como el fenómeno del Niño - Oscilación del Sur, se ha generado un déficit de precipitaciones y por ende un cambio en la disposición del uso de la energía hidroeléctrica por el de energía termoeléctrica para compensar el déficit hídrico. Además, las fuentes de energía primaria también se han visto afectadas, en una primera instancia debido al suministro de gas natural desde Argentina provocando que las plantas termoeléctricas emplean esta fuente de energía para la generación de electricidad. No obstante, la reducción del suministro por parte de Argentina provocó que nuevamente se reemplazara su uso por el de otros energéticos como el diésel, dejando en evidencia la volatilidad de nuestra matriz energética (Zaror & Vega, 2008).

En ese sentido, la creación de entorno edificado sostenible en países en vías de desarrollo como Chile, requiere de un enfoque y tratamiento diferente al adoptado en países desarrollados ya que los impactos ambientales del sector son mayores. El contexto económico, climático, energético, social, etc., hará que la construcción sustentable asuma diversos enfoques y prioridades diferentes (CIB, 1999).

La importancia y relación entre consumo energético y un proyecto de construcción radica en que éstos representan alrededor de un 40% de la energía anual consumida en Chile, lo que no deja de ser considerable teniendo en cuenta que estadísticamente su consumo tiende a aumentar. No obstante, este porcentaje es referido a toda la vida útil del proyecto de construcción, desconociéndose la distribución de energía en otras etapas como la utilización de materiales, operación, disposición final o el reciclado de los materiales (Carmona, F. 2010)

En ese sentido, la norma ISO 15.686-5:2008 establece las siguientes etapas del ciclo de vida de edificios y proyectos de construcción:

Ilustración 3: “ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN”



(Fuente: ISO 15.686-5:2008)

La etapa de diseño es clave, ya que las decisiones tomadas en esa etapa influyen en todo el ciclo de vida del edificio. La selección de materiales amigables con el medio ambiente resulta primordial, puesto que su elección representa al menos el 30% de la energía total y un 40% de las emisiones totales producidos durante todo el ciclo de vida del edificio (Zabalza, 2009). En casos de edificios que incorporen criterios eficiencia energética, la proporción de la energía incorporada puede llegar al 70%, aumentando la importancia relativa de ésta en el uso total de energía durante todo el ciclo de vida (Hernández, J. 2013).

Así también lo estipula Cuchí (2013), quien declara que el primer consumo energético que se debe considerar es el de la energía embebida de la fabricación de los materiales utilizados en obras de construcción. Cada uno de ellos tiene incorporada energía referida a procesos de extracción de materias primas, transporte, fabricación, distribución y comercialización. Si bien cada uno implica usos de energía, los procesos más significativos son los referentes a extracción y fabricación.

En ese sentido, la energía incorporada de los materiales puede definirse como: El conjunto de insumos energéticos, directos e indirectos utilizados para la edificación. Es la energía embebida en materiales y procesos que forman parte de la construcción, variando según el sistema constructivo adoptado por el proyectista. Cada proyecto es una combinación de materiales procesados que en su conjunto contribuyen a la energía incorporada del edificio. Ésta se requiere desde la etapa de extracción y proceso de la materia, hasta la etapa de distribución del producto final a la obra, todo se convierte en parte del costo de la energía embebida de la estructura (MUMMA, 1995).

3.3.2 ESTRATEGIA NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE.

La primera iniciativa formal en términos de construcción sustentable se origina el año 2012 mediante el acuerdo de colaboración interministerial entre el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Energía y Ministerio de Medio Ambiente. Éste tenía como objetivo coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en Chile.

La estrategia se formula para establecer los principales ejes para integrar el concepto de sustentabilidad en etapas de planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones. En ese sentido, dentro de los resultados esperados con la implementación de la estrategia se encuentra: la reducción del 12% del consumo energético proyectado para el año 2020; la reducción de un 20% de los GEI emitidos por el sector de la construcción tomando como base las emisiones proyectadas al año 2020 (ENCS, 2013). Así también, dentro de sus objetivos específicos contempla el fomento en la utilización de materiales de construcción con atributos de sustentabilidad, sin embargo, a la fecha se desconoce el grado de sustentabilidad de los materiales de construcción empleados en Chile, puesto que no todos los estudios de éstos son abordados desde perspectivas de ciclo de vida, desconociéndose el comportamiento medioambiental de los materiales en etapas de uso.

3.3.2.1 CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

El Código de Construcción Sustentable para Viviendas (CCS) fue desarrollado por el Building Research Establishment (BRE) en conjunto con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) el año 2014. El código tiene entre sus objetivos (CCS, 2014):

- Desarrollar estándares técnicos elevados de sustentabilidad para las viviendas, teniendo en cuenta las diferentes situaciones geográficas y climáticas de las regiones de Chile.
- Acelerar la transición hacia viviendas de calidad que proporcionen confort a sus usuarios, incluyendo criterios de eficiencia en materias relacionadas con la energía, el uso del agua y la gestión de residuos.
- Promover la innovación y proporcionar oportunidades para las industrias sostenibles y, en general, promover el desarrollo económico, ambiental y social.

No obstante, el CCS responde directamente al objetivo estratégico 05 declarado en la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, referido a “Desarrollar el concepto de construcción sustentable en Chile estableciendo estándares adecuados” y en particular al objetivo específico 05.1, referido a “definir estándares de construcción sustentable, elaborando documentos que determinen parámetros de construcción sustentable para edificaciones” (CCS, 2014).

El CCS para viviendas es una guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, para lo cual establece cuatro categorías principales de sustentabilidad: energía, agua, residuos, salud y bienestar.

3.4 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: MADERA ASERRADA PINO RADIATA

En Chile el sector forestal es el tercer sector explotador de importancia después de la minería y el sector de alimentos industriales, y el primero en exportar recursos naturales renovables. Sin embargo, a diferencia de la industria minera donde la materia prima se agota luego de explotarse, la industria forestal se basa en un ciclo renovable de plantación y cosecha (CORMA, 2016). Además de ser un material renovable, la madera es un reductor del CO₂ y liberador de oxígeno, a su vez requiere poca energía para su transformación y es en sí mismo un productor de energía (CORMA, 2007). De acuerdo a estudios, se comprobó que 1 m² de hojas de árboles asimilan por hora 1,35 lt de CO₂ contenido en el aire atmosférico, emitiendo a la atmósfera una proporción similar. Esto implica que los gases nocivos emitidos a la atmósfera son asimilados por la madera transformándose en carbono. Por ende se hace importante fomentar e implementar el uso de la madera en la construcción como generador de la demanda de mayores superficies terrestres arboladas (Jacobo, G. 2004)

En países desarrollados del hemisferio norte, gran parte de la construcción de viviendas se basa en sistemas constructivos de madera, combinando adecuadamente materiales y diseño para optimizar los consumos de energía. En el caso de Estados Unidos y Canadá, el 90% de la edificación residencial están construidas con estructura de madera, no muy distante a la realidad de Europa donde es posible observar construcciones en madera de hasta 6 pisos de altura (Urrutia, 2006). Según estadísticas de la Corporación chilena de la Madera, el 15% de las construcciones utilizan como material predominante la madera, siendo un 10% superior a lo observado una década atrás (CORMA, 2007). Esto indica que el mercado de la construcción en madera todavía está en desarrollo y aún es posible detectar oportunidades para seguir creciendo. Chile tiene una industria forestal de primer nivel, y el desafío es que éste sea un referente en ingeniería, arquitectura, diseño e innovación en madera a nivel mundial.

Desde finales del siglo XIX se introdujeron en Chile el Pino Radiata y el Eucalipto, provenientes de Estados Unidos y Australia respectivamente, y en la actualidad constituyen el pilar del desarrollo forestal nacional (CORMA, 2007). Actualmente, el Pino Radiata representa el 64% de superficie nacional plantada, y su presencia en aserraderos alcanza un 95% de la producción del país (Infor, 2012). Las plantaciones de Pino Insigne, o bien Pino Radiata, se iniciaron en terrenos agrícolas y de pastoreo, abandonados y erosionados, para pronto extenderse a extensas superficies de bosque nativo secundarios o degradados por la tala selectiva (Armesto, J et al. 1994). El estado, a través del Decreto Ley 701 de 1974 comenzó a subsidiar el costo de establecer plantaciones, principalmente exóticas en áreas que habían perdido su cubierta forestal original, siendo en muchos casos bosques nativos degradados. Su objetivo consistió en impulsar el desarrollo forestal en Chile estableciendo los siguientes incentivos (CONAF, 2016):

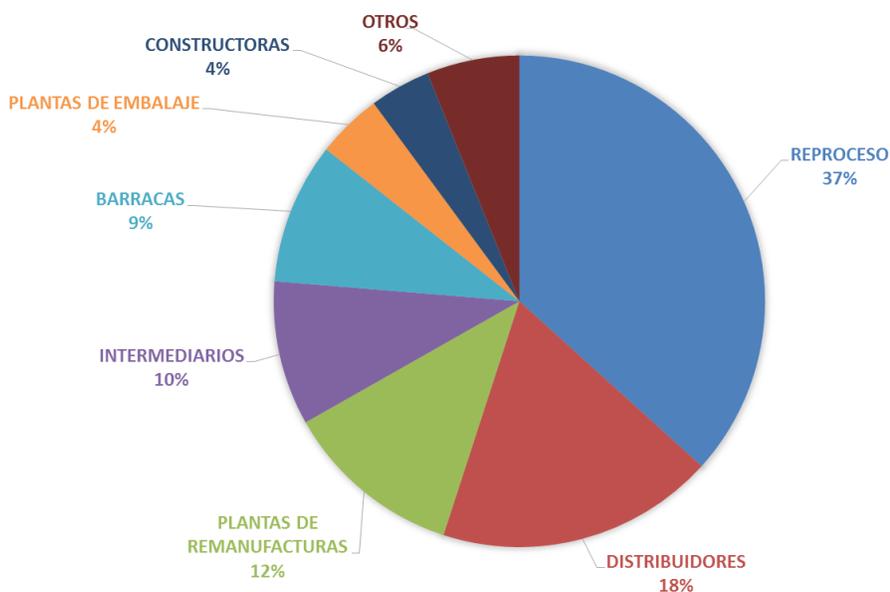
- Bonificación para la forestación o estabilización de dunas de terrenos para forestación.
- Bonificación y beneficios tributarios para actividades de administración y manejo de bosques plantados en terrenos de aptitud preferentemente forestal.

Producto de esto, gran parte de los bosques nativos de la VII y VIII región fueron reemplazados por plantaciones de pino, dejando escasas áreas protegidas. Cabe destacar que el Decreto Ley dejó de hacerse efectivo el año 2012, pese a los esfuerzos del gobierno por hacer efectiva su prórroga. Actualmente, las plantaciones de pino están mayormente presentes desde la región del Maule hasta la Araucanía, con una mayor proporción en la región del Bio-Bío (CORMA, 2016).

Se pueden distinguir 3 tipos de usos para la madera aserrada de Pino Radiata: consumo interno, exportaciones y reproceso. Este último representa a la madera aserrada utilizada en la industria manufacturera para la fabricación de molduras, puertas, tableros, muebles y otros. De esta distribución, el principal destino de la madera aserrada de Pino Radiata es el consumo interno con alrededor del 40%.

De acuerdo a esto, el consumo interno se distribuye de acuerdo al siguiente gráfico:

Ilustración 4: “DISTRIBUCIÓN DE MADERA ASERRADA PARA CONSUMO INTERNO”

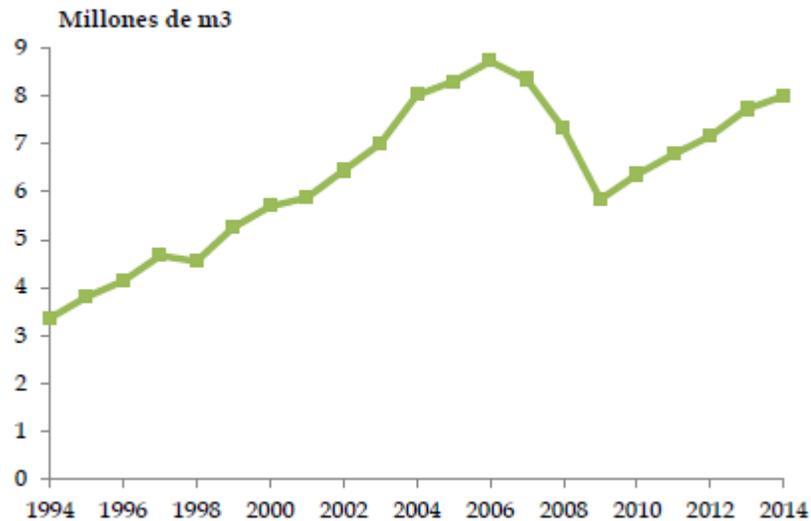


(Fuente: INFOR, 2015)

Del gráfico se observa el predominio de la madera destinada a reproceso, refiriéndose a esta como la madera que tiene algún proceso de elaboración en el mismo sitio del aserradero o en otro lugar. Los productos elaborados que resultan de este proceso son exportados o comercializados en el mercado nacional.

Desde el año 1975, el año con mayor producción de madera aserrada se produjo en el año 2006, principalmente debido a la mejora en los procesos de aserrado y a la demanda extranjera de EE.UU, Japón y México, además de la demanda estadounidense de productos elaborados en Chile con madera aserrada. El siguiente gráfico representa el volumen de madera aserrada producida en Chile desde el año 1994:

Ilustración 5: “PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA POR AÑO”



(Fuente: INFOR, 2015)

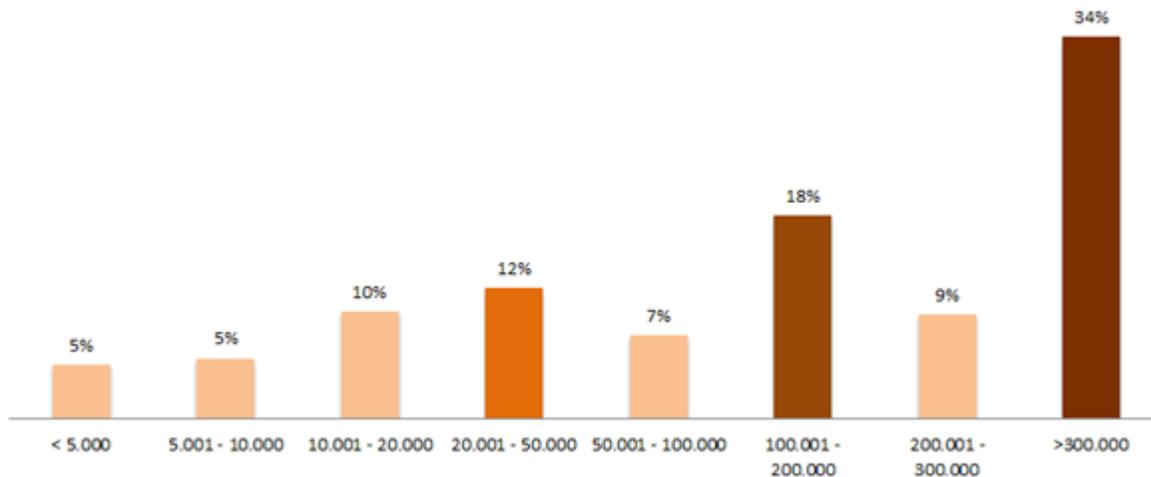
A partir del año 2006 se genera una disminución de la producción de madera aserrada de Pino Insigne en Chile a raíz de la crisis inmobiliaria estadounidense. Sin embargo, hasta el año 2014 se observó un crecimiento de un 28% en relación al año 2010, no obstante aún sigue siendo un 8.5% menor al año de mayor producción (INFOR, 2015).

En relación a la producción, en el sector forestal es posible distinguir dos tipos de productos: la madera en rollos producida directamente en el bosque y los productos finales generados a raíz de centros de transformación industrial. En el primer caso, la calidad del producto dependerá del proceso silvícola al que la madera ha estado expuesto. En cambio, en el segundo caso la calidad dependerá del proceso y la eficiencia de éste. En este punto nuestro país se encuentra muy por debajo de países con alta productividad forestal como Nueva Zelanda. A modo de ejemplo, en Chile es necesario 2,09 m³ de madera en rollo para producir 1 m³ de madera aserrada, mientras que en Nueva Zelanda es necesario solo 1,85 m³ de madera en rollo, otorgándole mayor valor agregado (Meneses, M. et al, 2000).

Para el año 2014, en Chile se encontraban en operación un total de 912 aserraderos, distribuidos en aserraderos permanentes y aserraderos móviles. Los primeros son aquellos donde su estructura se establece de manera permanente. Son unidades complejas que incluyen una mayor cantidad de procesos, desde el secado de la madera hasta su elaboración para obtener productos finales con mayor valor agregado. Por otra parte, los aserraderos móviles se dividen en: aserradero móvil tradicional y aserradero móvil portátil. El primero utiliza sierra circular simple con un ancho de corte de $\frac{1}{4}$ de pulgada, generando una gran cantidad de residuos madereros. Por otro lado, el aserradero móvil portátil es aquel que utiliza una huincha horizontal de un milímetro de espesor, permitiendo obtener cortes delgados con un mayor rendimiento de madera (INFOR, 2015).

El tipo de aserradero de mayor producción en Chile es el del tipo permanente, abarcando el 97,8% del total de producción nacional. Dentro de éstos, los aserraderos con mayores volúmenes de producción se distribuyen de acuerdo al siguiente gráfico:

Ilustración 6: “PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA EN ASERRADERO TIPO PERMANENTE / RANGO DE PRODUCCIÓN”



(Fuente: Anuario forestal, 2015)

Del gráfico se puede observar que el 34% de la producción total de aserraderos tipo permanente se efectúa en aquellos con una producción superior a 300.000 m³.

Los aserraderos cumplen la función de transformar la materia prima en productos de madera aserrada, y dependiendo del producto que se requiera se tendrán procesos de producción diferentes. En líneas generales, estos procesos se pueden describir como:

Preparación de materia prima: En esta primera etapa la materia prima es clasificada según su calidad y diámetro. En cuanto a calidad se observa si los troncos tienen presencia de mancha azul, desrame o trozos con doble flecha. En algunos casos la madera es descortezada y trozada con el objeto de ajustarse a la capacidad de los equipos. Su clasificación diamétrica permite que se optimice la materia prima ajustándose a los patrones de corte de la troza. Éstas son almacenadas y regadas constantemente mediante aspersion con el objeto de mantener condiciones de humedad para proteger su estructura y evitar los hongos. En gran parte de las plantas modernas tienen canchas de acopio de trozas entre 1-3 meses de producción.

Descortezado: El descortezado consiste en la separación de la corteza de los trozos de madera. En este punto la corteza se convierte en residuo, mientras la madera sigue el proceso de clasificación y agrupación según su diámetro. El descortezado permite aprovechar los residuos del proceso de descortezado transformándolo en astillas pulpables o aprovechado para la generación de energía a raíz de su combustión (Sociedad pública de gestión ambiental, 2000).

Un factor importante al momento de planificar el proceso de descortezado es mantener un flujo constante de materia prima, de manera tal que los procesos consecutivos al descortezado no se vean interrumpidos. El equipo más utilizado para este fin es el descortezador de anillos mecánico.

Aserrío de la troza: Una vez que la madera ha sido descortezada es clasificada de acuerdo a sus dimensiones y al tipo de producto que se requiera. Este proceso puede describirse de acuerdo a los siguientes puntos (Aguilar, C. 2003):

- **Alimentación al aserradero:** Es la primera actividad del proceso, y se debe tener especial cuidado en ingresar las trozas por su diámetro menor. La razón de esto es asegurar que los cortes se realicen donde hay material, evitando diferencias entre las escuadrías de madera.
- **Corte primario:** El objetivo de esta operación es realizar el primer corte en el trozo. Éste es medido y cortado de acuerdo al esquema de corte con el fin de optimizar la materia prima. En este proceso es posible que se generen piezas laterales con cantos muertos, las cuales necesitarán de un nuevo corte para eliminar este defecto. Esta etapa es muy importante para determinar el rendimiento de la línea de aserrado, ya que de acuerdo a la maquinaria disponible y a la calidad requerida de los productos se tendrán diferentes tasas de producción.
- **Corte secundario:** Una vez se realiza el corte primario, la madera es sometida a un nuevo proceso de corte con el objeto de eliminar defectos indeseados generados a raíz del corte primario. A simple vista no se aprecian diferencias entre el corte primario y secundario, sin embargo, su conexión a través de sistemas transportables como cintas, rodillos, cadenas y otros hace que éste proceso adquiera relevancia.
- **Canteado:** El canteado consiste básicamente en repetir los cortes anteriores con el objeto de eliminar cantos muertos y diferencias en las escuadrías de las trozas. La presencia de defectos en la madera disminuye en su precio de venta, por ende la existencia de este proceso cobra mayor importancia para la industria maderera.
- **Despuntado y clasificación:** Las piezas de madera obtenidas de las operaciones previas ya tienen una escuadría definida, quedando solo por determinar el largo de éstas y su grado de clasificación. El despunte consiste en cortar los extremos de las piezas para llevarlos a largos comerciales. Posteriormente la madera es clasificada según su escuadría y calidad asignada. En Chile, la calidad del Pino Radiata es clasificada visualmente de acuerdo a la NCh 1207 of 2005
- **Re-aserrío:** El proceso de re-aserrío es aquel donde a partir de piezas matrices de mayor tamaño, obtenidas durante las operaciones de corte primario y secundario, son nuevamente aserradas para obtener piezas de menor escuadría. Otro motivo para

realizar este proceso es disminuir la posibilidad de que se generen cuellos de botella en la línea de aserrado y con ello disminuir la producción.

La industria del aserrado ha ido evolucionando rápidamente, impulsado por la heterogeneidad de tamaños, tipos y calidad de tecnología y productos de la madera comercializada. Esta lógica se propicia por la necesidad de ganar competitividad frente a un abastecimiento de madera en trozos de cada día de mayor costo y competencia.

Lo anterior ha traído consigo una falta de competitividad de medianos y pequeños aserraderos, ya que su eficiencia y costos de producción no son comparables frente a las nuevas realidades competitivas (Campos, J. 2001).

En ese sentido, la eficiencia y el rendimiento volumétrico que el aserradero entregue dependerá de diversos factores, tales como (Arreaga, J. 2007):

- **Diámetro de las trozas:** El diámetro de las trozas es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío, puesto que a mayor diámetro se incrementa el volumen de producción por unidad de tiempo, permitiendo optimizar la utilización del aserradero en beneficio de la producción (Egas, AF. 1998).
- **Longitud, conicidad y diagrama de troza:** La geometría y el diagrama de corte de la troza será determinante para el rendimiento volumétrico. En la medida que aumente la diferencia entre los diámetros extremos de la troza, las posibilidades de contar con mayor cantidad de piezas de madera dimensionada se reduce, debiendo el diagrama de corte adaptarse a las condiciones de la troza (Egas, AF. 1998).
- **Calidad de las trozas:** El efecto de la calidad de la troza, en especial aquellas que se encuentren torcidas generarán una disminución volumétrica de un 5% por cada 0,1 de incremento en la proporción torcedura-diámetro (Arreaga, J. 2007).
- **Tipo de sierra:** El ancho de corte influye sobre el rendimiento del volumen de madera aserrada, ya que una vía de corte ancha genera más pérdida de fibras de madera en forma de aserrín, disminuyendo la eficiencia de la maquinaria. (Zabala, D. 1991).
- **Diagrama de corte:** La implementación de diagramas de corte considerando el diámetro, longitud, calidad y conicidad de las trozas, así como el tipo de sierra, son variantes de la planificación del aserrado que optimizan la producción piezas de madera.

Con respecto a la sustentabilidad, el año 2007 la CORMA suscribe un Acuerdo de Producción Limpia, cuyo objetivo es mejorar las condiciones productivas y ambientales en términos de: residuos líquidos, residuos sólidos, uso eficiente del agua, uso eficiente de la energía, seguridad y salud ocupacional e innovación. De entre los resultados obtenidos a raíz del acuerdo, se destaca una disminución de más de un 12% del consumo de electricidad a raíz del reemplazo de equipos con alto consumo eléctrico, controles permanentes de eficiencia térmica en equipos y la optimización en los equipos de climatización (CORMA, 2007).

Por otra parte, una vez de la madera ha sido aserrada puede seguir diferentes caminos. Por una parte existe un mercado para la comercialización de madera verde en Chile, en la industria de la construcción su utilización es preferentemente seca. En ese sentido esta parcialidad no solo es nacional, puesto que las nuevas normas de la Comunidad Europea prevén la



prohibición en un futuro próximo de la importación de madera aserrada verde en países asociados (Gómez, E. et all. 2006).

El contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes a considerar teniendo en cuenta los propósitos para los que la madera será utilizada. La madera es un material higroscópico, es decir absorbe o cede humedad según las condiciones ambientales a las que está sujeta. En el momento en que la madera cede humedad, entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades hasta el punto denominado punto de saturación de la fibra, punto en el cual las paredes celulares ya no tienen almacenada agua libre (Corma, 2003). El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra depende de diversos factores y varía según diferentes especies, aceptándose como promedio general un rango entre 28% - 30%. Bajo estos valores, la madera cede el agua contenida en sus paredes celulares hasta un punto en que el intercambio de humedad con el medio ambiente se estabiliza. Este punto se conoce como humedad de equilibrio y puede definirse como el porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad de su medio ambiente (Corma, 2013). La pérdida de humedad por bajo el punto de equilibrio solo podrá conseguirse por medio de hornos o estufas, único medio para obtener madera en estado anhidra.

En Chile, la norma chilena de cálculo de construcciones en madera, NCh 1198 of 2006, define la madera en estado verde a aquella en donde su contenido de humedad es superior al 30%, y la madera seca a aquella donde su contenido de humedad no es superior al 20%. Para el caso de la construcción, es recomendable que la madera a utilizar tenga un contenido de humedad similar a la humedad de equilibrio del lugar en donde será utilizada (NCh 1198 of 2006).

La madera sin secar es más sensible al ataque de microorganismos que merman su calidad, por ende el secado resulta fundamental al momento de darle un valor agregado al producto que se está comercializando (Aguilar, C. 2003). El secado al horno es uno de los métodos más utilizados para alcanzar contenidos de humedad por debajo del punto de equilibrio. La madera se expone a condiciones de temperatura y humedad relativas controladas en una cámara o compartimiento cerrado que permite elevar la temperatura e ir generando variaciones en la humedad relativa. De acuerdo a los requerimientos, se ingresa aire forzado por el sistema de ventilación, calefacción y humidificación. A medida que el aire circula por entre la madera absorberá la humedad de ésta, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura del aire (Red madera, 2006). Las condiciones que se aplican para cada etapa de secado están definidas por el programa de secado, determinado según las características de la madera, calidad de secado, disponibilidad de recursos, etc. (Doerner. S, 2009). Para eliminar el agua contenida en la madera es necesario un aporte energético, entregado en forma de calor. La cantidad de energía dependerá del espesor de las piezas, del tipo de secado, características de la cámara, programa de secado, etc. Para el cálculo del consumo de energía deben incluirse los consumos de todas las etapas de secado, desde el calentamiento del horno hasta la evaporación del agua (Red madera, 2006).

El tiempo que se requiere para el secado de una pieza de madera depende tanto de variables propias de la madera como de las condiciones climáticas a las que está expuesta. Dentro de las

propiedades inherentes a la madera que afectan el proceso de secado se encuentran (Ávila, J. 2012):

- *Tipo de madera:* El tiempo de secado de la madera influye de acuerdo al tipo de madera teniendo en cuenta su densidad. Las maderas de baja densidad necesitarán menos tiempo en secarse, contrario a lo que ocurre con maderas de alta densidad.
- *El grosor:* El grosor de las tablas afecta de manera importante el proceso de secado de la madera, pudiendo ser hasta tres veces mayor el tiempo de secado en las mismas piezas de madera con el doble de espesor.
- *Albura y duramen:* El contenido de humedad contenida en la albura es usualmente mucho mayor a la observada en el duramen. Sin embargo, las características anatómicas de la albura hace que su proceso de secado sea más rápido, acentuándose en el caso de maderas de baja densidad.

Por otra parte, la madera también puede secarse de manera natural. En el caso de la madera seca al aire, el aire atmosférico circula a través de ella eliminando gradualmente la humedad contenida. La circulación del viento y la radiación solar permite secar la madera sin necesidad de utilizar equipos o maquinaria. Sin embargo, ante la necesidad de la reducción de los tiempos de secado, el secado artificial se posiciona como el de mayor utilización (Ávila, J. 2012).

Una vez que la madera se encuentra seca, es posible darle un valor agregado mejorando su terminación superficial. El cepillado mejora la calidad de la madera desde un aspecto visual, y ocasiona que la madera que ha sido cepillada deba volver a ser clasificada de acuerdo a las características del cepillado. El cepillado disminuye en aproximadamente 3 milímetros la cara de la madera aserrada, pudiendo ser mayor en casos de que la pieza sea cepillada por las 4 caras.

3.4.1 ECODISEÑO

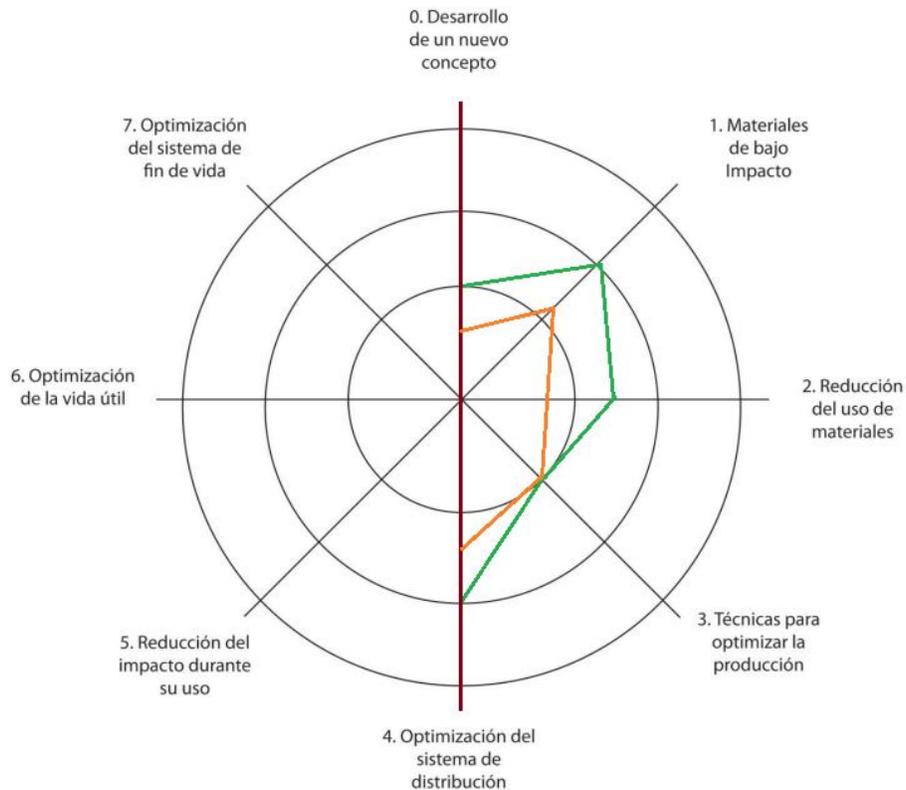
Todos los productos generan, en mayor o menor medida, impactos al medio ambiente a través de sus procesos productivos tales como: transporte y consumo de materias primas, distribución o manufactura; no obstante, si el objetivo es desarrollar productos más sustentables, es necesario incluir factores medioambientales desde el diseño de éstos. A esto último se le conoce como ecodiseño, que es la metodología empleada en el diseño de productos industriales en que el medioambiente es considerado como un factor adicional a los que usualmente se utilizan para la toma de decisiones. Es decir, factores como el costo, calidad, imagen o funcionalidad, tienen la misma relevancia que el medio ambiente, permitiendo disminuir los impactos ambientales en las diferentes etapas del ciclo de vida del producto.

No obstante, el ecodiseño no le da mayor peso específico al medioambiente, sino que busca equilibrar los requerimientos ecológicos con los económicos, al mismo tiempo que se lleva a cabo la realización del producto. Es decir, conduce hacia una producción sustentable y a un consumo más racional de recursos durante el ciclo de vida del producto (Prysmá, 2007).

En la práctica, en el diseño de un producto intervienen diferentes actores, los cuales deberán conocer precisamente los aspectos ambientales de los procesos que debiesen ser tomados en cuenta. Para ello, resulta útil la utilización de herramientas que permitan valorizar estos

impactos para las diferentes etapas del ciclo de vida. Ejemplo de esto es la rueda estratégica del ecodiseño, la cual precisa de manera gráfica las mejoras medioambientales realizadas para todos los procesos del ciclo de vida, además de orientar las estrategias en el corto y largo plazo para fomentar éstas.

Ilustración 7: RUEDA ESTRATÉGICA DEL ECODISEÑO



(Van Hemel. G, 1998)

La rueda estratégica del ecodiseño permite visualizar las mejoras producidas a los procesos de las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto. En particular, la Ilustración 8 representa un ejemplo a las mejoras implementadas al proceso productivo de la madera aserrada. Al producto se le ubica en el centro, y sus cualidades según su estado respecto a estos parámetros se acercan o alejan a los extremos de los indicadores, mejorando el diseño del producto mientras más alejado están de su condición inicial. La Ilustración 8 solo contempla etapas desde el desarrollo del concepto de producto madera aserrada hasta la optimización en los sistemas de distribución, puesto que la presente investigación solo abordará procesos desde la cuna a la puerta. No obstante, sin duda resulta una buena manera de representar las mejoras realizadas a los productos durante el proceso productivo, posibilitando el desarrollo de estrategias para la mejora ambiental de éste

Por otro lado, existen tanto factores internos como externos que motivan a empresas a mejorar ambientalmente sus procesos, siendo el motor del ecodiseño la preferencia de los

consumidores por productos sustentables. En ese sentido, cuanto mayor sea la demanda por productos medioambientalmente más amigables, mayor será el cambio en favor de un consumo más sustentable. Para lograr esto último, se hace fundamental que el consumidor tenga a su disposición información medioambiental de los productos, de manera clara, comprensible, pertinente y creíble. De esta manera, la elección del consumidor se realizará teniendo en cuenta datos medioambientales de productos, influenciándolo en la toma de decisiones final.

La comunicación de los aspectos ambientales de productos y servicios no solo va en beneficio de mejorar el diseño de los materiales, sino que también está relacionado con la ecoeficiencia de éstos. En esa línea, la ecoeficiencia puede definirse como la estrategia medioambiental de reducir el impacto de un producto o servicio, aumentando la eficiencia en la utilización de los recursos. Es decir, consisten en darle un mayor atributo o valor al producto comercializado sin acrecentar los impactos ambientales, sin embargo, para poder darle ese atributo se hace imprescindible al menos conocer estos impactos con el fin de buscar oportunidades de mejora.

3.4.1.1 DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO.

Como se planteó anteriormente, la comunicación del perfil medioambiental de productos resulta primordial para fomentar el ecodiseño y ecoeficiencia de productos, influenciando la toma de decisiones del consumidor al disponer de información medioambiental pertinente, verificable y creíble. La ISO 14.025 nace en el año 2006 con el objetivo de estandarizar el cálculo y la comunicación de los impactos ambientales de bienes transables bajo la metodología de análisis de ciclo de vida. Esta norma establece criterios para la comunicación de sus resultados dependiendo del tipo de público objetivo y del propósito de la comunicación. Esta comunicación la define de manera tal que sea consistente con los requerimientos y lineamientos para declaraciones ambientales de producto tipo III. Los diferentes tipos de declaraciones ambientales son los siguientes:

- **Tipo I – ISO 14.024:** Afirmaciones medioambientales verificadas por terceros de acuerdo a metodología de ciclo de vida. Tiene el carácter de ser voluntario.
- **Tipo II – ISO 14.021:** Son afirmaciones del mismo fabricante en relación a algunos de los aspectos ambientales de sus productos.
- **Tipo III – ISO 14.025:** Declaración de aspectos ambientales de productos de acuerdo a metodología de ciclo de vida, presentados en de una forma estandarizada mediante Reglas de Categorías de Productos (RCP)

Como una herramienta de soporte, la ISO 14.025 considera el desarrollo y adopción de Reglas de Categoría de Productos (RCP). Las RCP establecen requisitos y directrices para el desarrollo de Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) tipo III, permitiendo la transparencia y comparabilidad entre distintas DAP basado en una misma RCP.

Las RCP deben identificar, documentar el objetivo, el alcance y los resultados del estudio de huella de carbono, determinando las etapas del ciclo de vida que se incluirán, los parámetros a tratar, y la forma en que se recopilan y documentan los datos recopilados.

Dentro de la información básica a comunicar en las RCP se considera:



- Unidad funcional
- Límites del sistema
- Descripción de datos
- Criterios de inclusión de entradas y salidas
- Requisitos de calidad de datos.

La unidad funcional debe proporcionar una referencia con la cual se relacionan las entradas y salidas. Por ende, deberá estar claramente definida y debe necesariamente ser medible. Una vez definida la unidad funcional, deberá determinarse el flujo de referencia conforme a la norma ISO 14.044. Luego, los límites del sistema definirán que procesos o etapas del ciclo de vida se incluyen dentro del estudio de la huella de carbono. La selección de los límites deberá ser coherente con el objetivo de estudio, identificando y explicando los criterios utilizados para su selección. Con respecto a la calidad de los datos, la norma estipula que éstos deben ser representativos de los procesos de estudio, además de contribuir significativamente a la huella de carbono del producto. Los datos primarios pueden ser obtenidos mediante el análisis de un proceso de un sitio específico, o bien ser obtenidos a raíz del promedio de todos los sitios que contienen el proceso. En cambio, los datos secundarios se utilizarán en casos de que no se pueda tener acceso a datos primarios, y deberán ser justificados y documentados en el informe de estudio de la huella de carbono del producto.

Como requisito para poder comparar las declaraciones ambientales de dos productos diferentes, los objetivos y alcances descritos en el etiquetado deberán ser idénticos, así como su unidad funcional, descripción de datos y criterios de selección de entradas y salidas.

El etiquetado tipo III cuantifica la información ambiental durante el ciclo de vida del producto, de manera tal que sus resultados sean comparables con otros productos que cumplan la misma función. Esto le permite al usuario comprender las ventajas en adquirir un determinado producto incentivando sus decisiones de compra por productos más sustentables (Balic, G. 2015). Así también, el etiquetado ambiental produce que la información obtenida por los consumidores genere conciencia ambiental, sensibilizándolos sobre los efectos que su elección tiene sobre el medio ambiente. Luego éste puede formar su propio criterio y estará capacitado para elegir un producto que se considera de mejor calidad ambiental cumpliendo la misma función. (Irma Espitia, Oscar Pedraza. (6-1-2009). Función de la promoción en los medio de comunicación sobre el comportamiento del consumidor ecológico. INCEPTUM, Vol. IV, 61-78.). Igualmente, la etiqueta ecológica significa un medio para aumentar y dar mayor calidad a la participación ciudadana, ya que resulta mejor informada por medio de un instrumento estandarizado. (CEPAL, 1993).

En general, los beneficios de registrarse bajo un sistema de etiquetado ambiental son transversales, puesto que también le resulta provechoso a la empresa el incorporarlos. La certificación de productos y servicios no solo le permite distinguirse entre sus competidores,



sino también incrementar la confianza de los consumidores con la empresa, permitiendo mejorar su imagen de marca y ampliar el mercado (Cabarcos.V, 2014). En ese sentido, el etiquetado ecológico añade un valor agregado a los productos y servicios ofertados por la empresa, pudiendo ser empleado como una potente herramienta de marketing ecológico que fomente el consumo por este tipo de productos.

4. METODOLOGÍA

4.1 CASO DE ESTUDIO

Para dar respuesta a las preguntas de investigación se realizó un análisis del proceso productivo y de transformación de la madera aserrada de Pino Radiata del aserradero Foracion Chili ubicado en la Provincia de Curanilahue, Región del Biobío. Éste se realizó bajo enfoque de ciclo de vida de acuerdo a los principios normativos estipulados en la ISO 14.040 - 2006 Evaluación de Ciclo de Vida: Principios y Marco de Referencia.

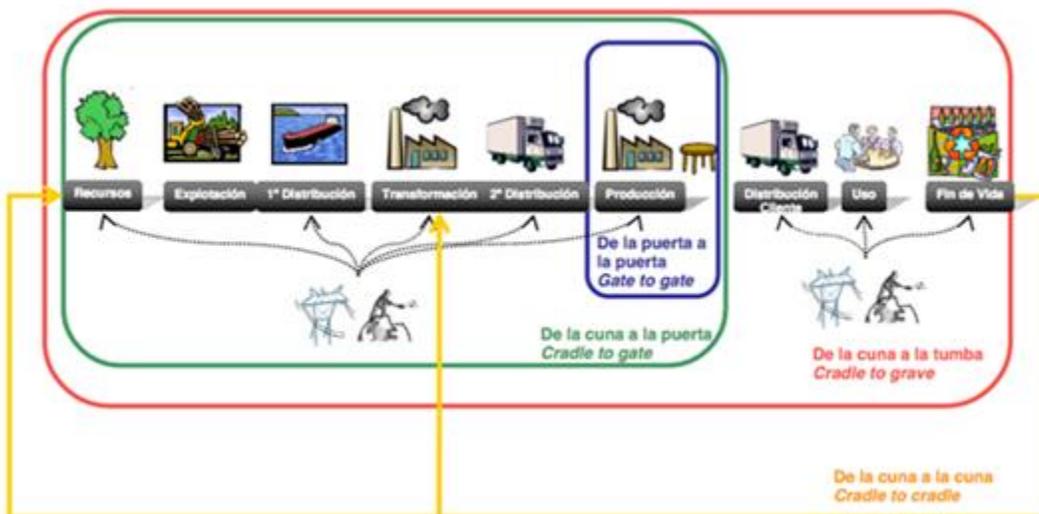
4.2.1 OBJETIVO

Determinación de la energía contenida y emisiones de CO₂ de la madera de Pino Radiata durante proceso de aserrío para la obtención de: madera aserrada verde, astillas y aserrín, finger joint blanks y paneles sin nudos.

4.2.2 LÍMITES DEL SISTEMA

De acuerdo a lo estipulado en la ISO 14.040:2006, el análisis del proceso puede realizarse bajo los siguientes alcances:

Ilustración 8: “ALCANCES DE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA”



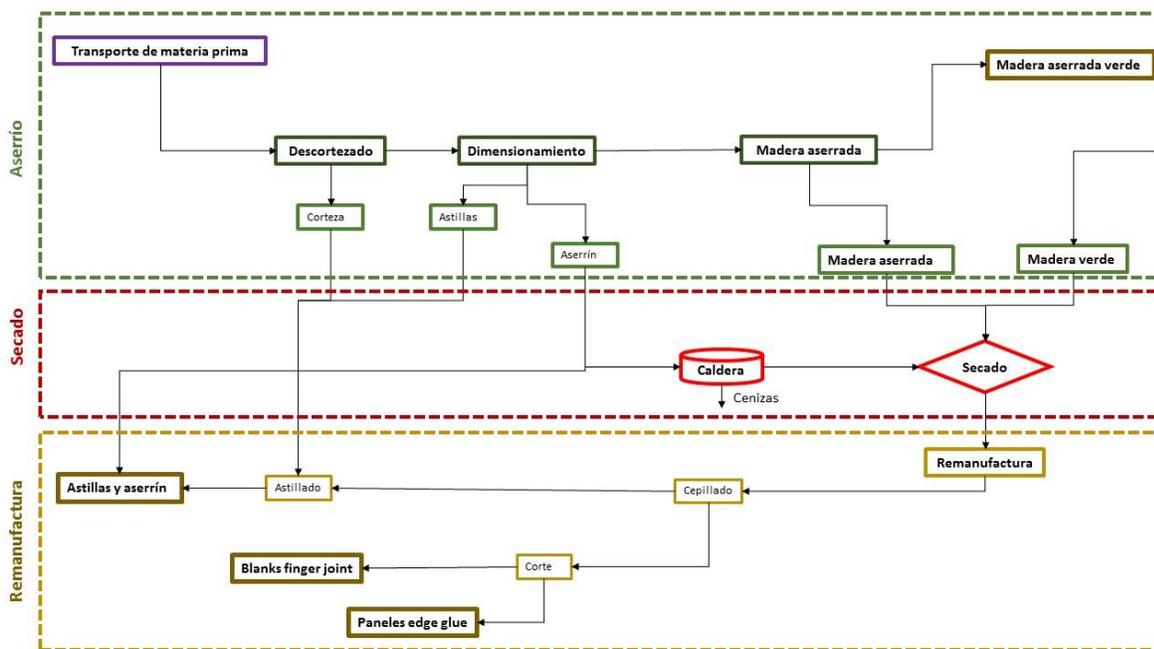
(Fuente: Ihobe, 2009)

- **De la cuna a la tumba:** Alcance que incluye todas las entradas y salidas de los procesos que son parte a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final o reciclado.
- **De la cuna a la puerta:** Alcance que incluye las entradas y salidas desde la extracción de las materias primas hasta su distribución a los clientes.
- **De la cuna a la cuna:** Alcance que incluye las entradas y salidas a lo largo de todo el ciclo de vida, con la particularidad de incluir como materia prima y/o entrada al mismo sistema el producto desarrollado (reciclado).

- **De la puerta a la puerta:** Alcance que incluye entradas y salidas referidas solo al proceso de fabricación.

De acuerdo a la información proporcionada por el Caso de Estudio el análisis comprenderá procesos desde la cuna a la puerta de acuerdo a la siguiente ilustración:

Ilustración 9: “DIAGRAMA DE FLUJOS DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A”



(Fuente: elaboración propia)

El proceso de aserrío considera la energía de diésel referida exclusivamente al transporte de materia prima desde la plantación forestal hasta Foraction Chile. Luego, se incluye la energía eléctrica destinada al descortezado y dimensionamiento de la materia prima, con el objeto de producir 94.340 m³/año de madera aserrada verde. Posteriormente, se incorporan energías asignadas al secado de la madera aserrada mediante la utilización de biomasa proveniente del dimensionamiento. Finalmente, se incluye la energía eléctrica destinada a la remanufactura de la madera aserrada seca, con el objeto de producir astillas y aserrín, blanks finger joint y paneles edge glue.

Se excluye del análisis las energías destinadas a: Raleo de trozas en la plantación forestal, transporte interno de materia prima, limpieza de la biomasa empleada para proceso de secado, consumo de adhesivo para remanufactura de madera aserrada seca, tratamiento y extracción de residuos, consumo de lubricantes en maquinarias y mantenciones realizadas a la planta.

4.2.3 UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional es la referencia con la cual se levanta la información del inventario de ciclo de vida, siendo un elemento clave en el ACV y debe ser definido claramente. De acuerdo al objetivo planteado en este estudio, la unidad funcional será el m³ de madera aserrada y remanufacturada.

4.2.4 PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN

La asignación de energía se realizó de acuerdo a la masa resultante de cada proceso de aserrío y remanufactura. En relación al aserrío, la energía eléctrica se distribuyó entre los subproductos corteza, aserrín y astillas. Por otro lado, referente a la remanufactura, la energía eléctrica se distribuyó entre la masa resultante de Astillas y Aserrín, Paneles Edge Glue y Blanks Finger Joint.

4.2.5 CATEGORÍAS DE IMPACTO

Las categorías de impacto a analizar corresponden a energía contenida (GJ/m³) y aporte al calentamiento global (kg CO₂ eq./m³). La energía contenida se determinará cuantificando el diésel, energía eléctrica y de biomasa empleadas durante los procesos de transporte de materia prima, aserrío, secado y remanufactura de la madera de pino radiata. El factor de emisión del diésel empleado corresponde a datos del IPCC del año 2006, mientras que el factor de emisión de la electricidad se obtuvo de datos del Ministerio de Energía para el Sistema Interconectado Central (SIC) para el año 2015.

- Diésel
 - Poder calorífico: 10.900 kcal/kg.
 - Densidad: 0,840 lt/m³.
 - Factor de emisión: 74,2 kg CO₂ eq./GJ
- Biomasa
 - Poder calorífico superior: 20,08 Mj/m³.
 - Contenido humedad: 15%
 - Concentración de hidrógeno (base seca): 6%.
- Electricidad
 - Factor de emisión: 96,1 kg CO₂ eq./GJ

4.2.6 REQUISITOS DE CALIDAD DE DATOS

La información requerida para dar cuenta del objetivo de la investigación se levantó respecto a la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de Foraction Chili. En ese sentido, los datos utilizados corresponden a datos primarios, ya que la DIA es una declaración jurada que realiza la empresa para dar cuenta del impacto que genera su proceso productivo. En ese sentido, como datos primarios se emplea los volúmenes de producción de procesos de aserrío, secado y remanufactura, volumen a transportar por camión distribuidor, además de la biomasa empleada y el consumo eléctrico utilizado para remanufacturar la madera.

No obstante, se tuvieron que utilizar datos secundarios para poder realizar el ICV como: consumo de diésel para transporte de materia prima, consumo eléctrico aserrío, contenido de humedad de biomasa y densidades de productos y subproductos para la asignación másica.

4.2.7 SUPUESTOS

Con el objeto de precisar el consumo energético y de emisiones del proceso productivo de Foración Chili se realizaron una serie de supuestos con el objeto de complementar el análisis de la información recopilada en la DIA. En ese sentido, en relación al proceso de transporte de materia prima, se consideró el supuesto de que ésta sería suministrada por un proveedor en un rango de 0-200 km, ya que más del 50% de los proveedores con un nivel de producción superior a 100.000 m³/año están comprendidos en ese rango. Luego, para el transporte de los 50.000 m³/año adquiridos se estableció el supuesto de que el proveedor se encuentre ubicado en las principales ciudades cercanas a Curanilahue, utilizando la distancia promedio entre estas ciudades para cuantificar el diésel utilizado. Se establece el supuesto de que el camión abastecedor de materia prima transitará por carretera con un rendimiento de 2,0 km/lit.

Por otro lado, durante el proceso de secado, se utiliza una densidad promedio de 15% (Encinas, 2002) para la madera de pino radiata seca al aire, ya que se desconoce hasta qué punto la biomasa es secada producto de la operación de las calderas.

Así también, se establecen supuestos en relación a las densidades de productos y subproductos con el objeto de la asignación másica:

- ❖ Densidad corteza: 463 kg/m³ (Poblete. H, 1991)
- ❖ Densidad aserrín: 437,5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007)
- ❖ Densidad astillas: 421,9 kg/m³ (Cea, H. 2003)
- ❖ Densidad Blanks Finger Joint: 490 kg/m³ (Tablev, 2016)
- ❖ Densidad Paneles Edge Glue: 490 kg/m³ (Tablev, 2016)

5. RESULTADOS “CASO DE ESTUDIO”

5.2. Análisis del ICV

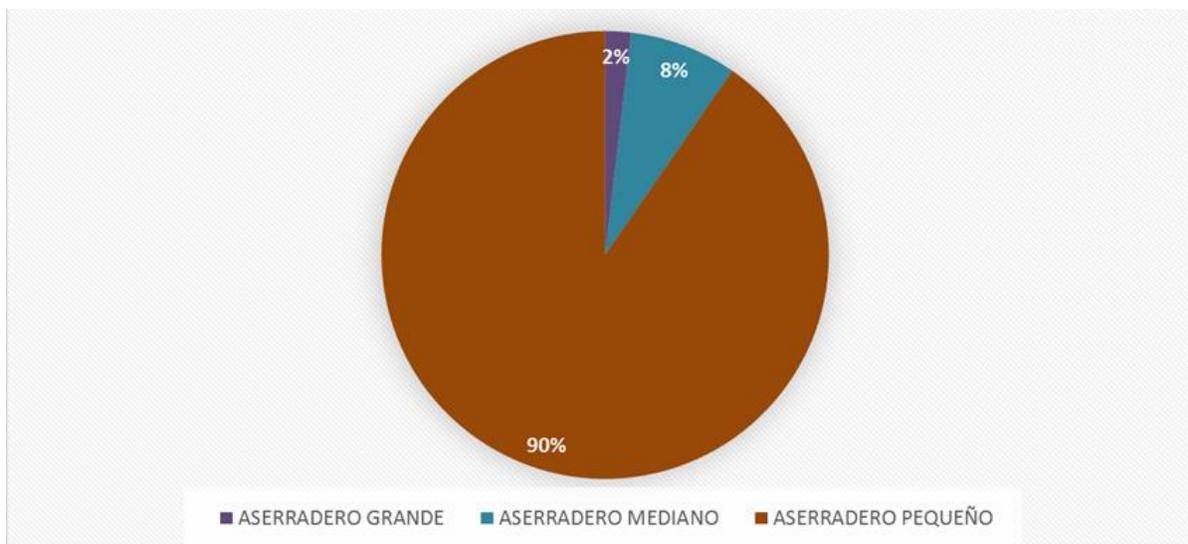
5.2.1 Proceso de aserrío

5.2.1.1 Transporte de materia prima 200.000 m³ - consumo diésel.

La producción del aserradero Foraction Chili S.A demanda un consumo anual de 200.000 m³ de trozas de Pino Radiata, con un diámetro entre 18-40 cm y una longitud entre 2,4 - 3,7 mt. El proceso de aserrío tiene un factor de producción de 47.17%, lo que genera que la planta produzca 94.340 m³/año de madera aserrada.

Si bien la DIA no estipula los proveedores de madera que abastecen de materia prima al aserradero, su consumo diario de aproximadamente 834 m³/día hace suponer que solo dispondrá de aserraderos medianos o grandes para dar a basto a esa necesidad. Por lo anterior, para determinar una distancia media entre los proveedores de madera y el aserradero en estudio, se buscaron todos los aserraderos nacionales registrados en la base de datos del Instituto Forestal (2013), obteniendo los siguientes resultados:

Ilustración 10: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS A NIVEL NACIONAL”



(Fuente: Elaboración propia)

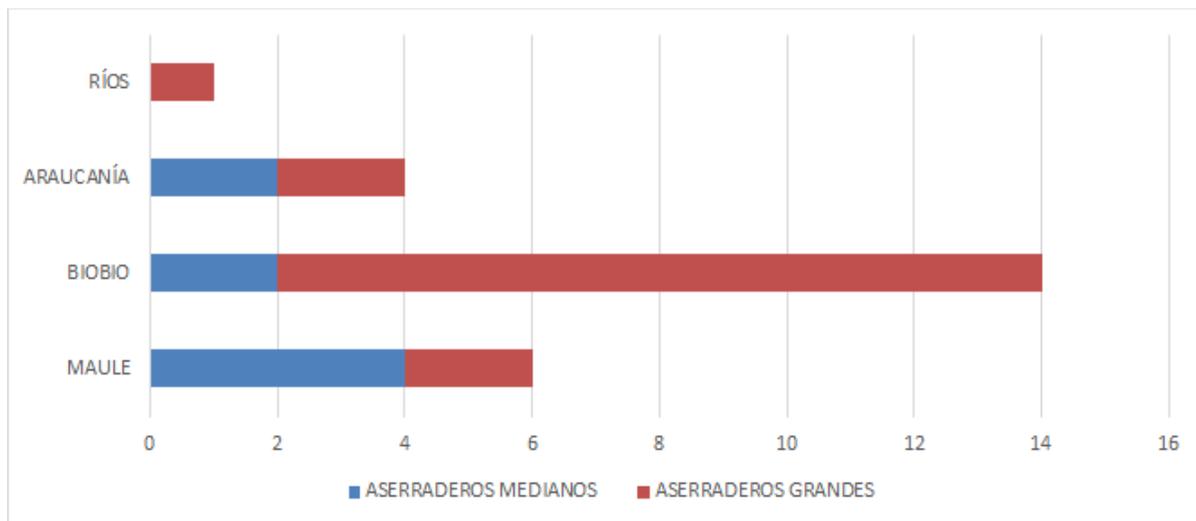
De acuerdo al Instituto Forestal (INFOR, 2015), los aserraderos se clasifican en aserraderos grandes, medianos y pequeños. Los del tipo grandes tienen niveles de producción superiores a los 100.000 m³/año, los del tipo mediano una producción entre 10.000 - 100.000 m³/año y los aserraderos pequeños una producción hasta 10.000 m³/año.

Del total de aserraderos observados, 873 (90%) corresponden a aserraderos pequeños con un volumen de producción menor a 10.000 m³/año. Los aserraderos medianos, con un volumen de

producción entre 10.000 -100.000 m³/año representan el 75 del total (8%). Finalmente, solo el 18 de los aserraderos observados tienen un volumen de producción superior a los 100.000 m³/año (2%).

Teniendo en consideración el volumen de datos a analizar, se establece el criterio de solo considerar como proveedores a aserraderos con un volumen de producción superior a los 50.000 m³/año (2.6%), distribuidos en las siguientes regiones:

Ilustración 11: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS A NIVEL NACIONAL”

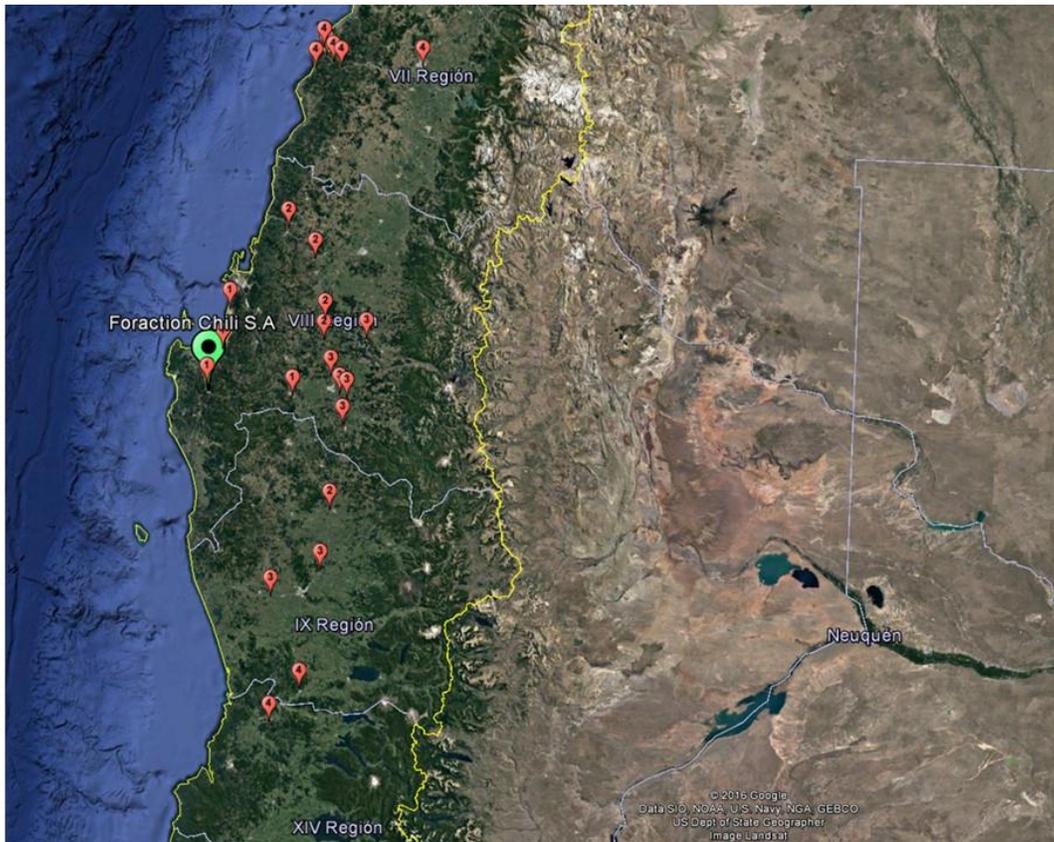


(Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se observa que la mayor concentración de aserraderos medianos (96%) con un volumen de producción superior a los 50.000 m³/año se encuentra ubicados desde la región del Maule a la región de la Araucanía. Así también, el 75% de los aserraderos grandes, con una producción superior a los 100.000 m³/año, se encuentran ubicados en la región del Biobío.

Luego se procedió a determinar las distancias entre los aserraderos observados y el aserradero en estudio. Para ello se utilizó la aplicación de Google Earth, obteniendo la siguiente distribución:

Ilustración 12: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS POR REGIÓN”



(Fuente: Elaboración propia)

La información recopilada se registró en la siguiente tabla, con el objeto de determinar la distancia promedio entre todos los aserraderos grandes y medianos y el aserradero en estudio:

Tabla 1: "DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES - FORACTION (KM)"

NOMBRE ASERRADERO	TIPO ASERRADERO	DISTANCIA FORACTION (KM)	PROMEDIO (km)	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta El Colorado)	GRANDE	5,8	199	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 1)	GRANDE	34,2		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 2)	GRANDE	34,2		
CMPC Maderas S.A. (Planta Nacimiento)	GRANDE	87,6		
Forestal León Ltda. (Planta Coelemu)	GRANDE	156		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Nueva Aldea)	GRANDE	160		
Masisa S.A	GRANDE	168		
CMPC Maderas S.A. (Planta Bucalemu)	GRANDE	187		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Cholguan)	GRANDE	201		
Aserraderos J.C.E. S.A	GRANDE	206		
Promasa S.A	GRANDE	209		
CMPC Maderas S.A. (Planta Mulchén)	GRANDE	212		
Forestal Tremen S.A. (Planta Nueva Imperial)	GRANDE	246		
Forestal Tremen S.A. (Planta Loncoche)	GRANDE	335		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta El Cruce)	GRANDE	357		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Valdivia)	GRANDE	377		
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Viñales)	GRANDE	401		
Forestal Tremen S.A. (Planta Coronel)	MEDIANO	74		260
Aserradero Victoria S.A	MEDIANO	187		
Aserraderos Cerro Colorado S.A	MEDIANO	201		
Maderas Jaime Venturelli Y Cía. Ltda. (Planta Lautaro)	MEDIANO	240		
CMPC Maderas S.A. (Planta Constitución)	MEDIANO	319		
Maderas Martín Ltda.	MEDIANO	334		
Maderas Jaime Venturelli Y Cía. Ltda. (Planta Maule)	MEDIANO	336		
Forestal Santa Blanca Ltda	MEDIANO	389		

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a la DIA, la distribución y abastecimiento de la materia prima se realizará en camiones de doble puente con carro simple, con una capacidad promedio de 18 m³ con un rendimiento medio en carretera de 2,0 km/lt (Muñoz, C. 2012).

La distancia promedio entre el aserradero Foraction Chili S.A y los aserraderos grandes es de 199 km. Es decir, en el caso de que un aserradero del tipo grande provea con 834 m³/día de madera de pino radiata, deberá recorrer en promedio 199 km para hacer entrega de la materia prima en el aserradero en estudio. En cambio, en caso de que un aserradero del tipo mediano sea el encargado de realizar el abastecimiento, la distancia promedio recorrida sería de 260 km.

Ahora bien, para sensibilizar los datos obtenidos se estableció el supuesto de que la compra de materia prima se efectuará tanto en aserraderos tipo grande como medianos, variando la proporción de compra entre cada uno.

Tabla 2: "CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-400 KM"

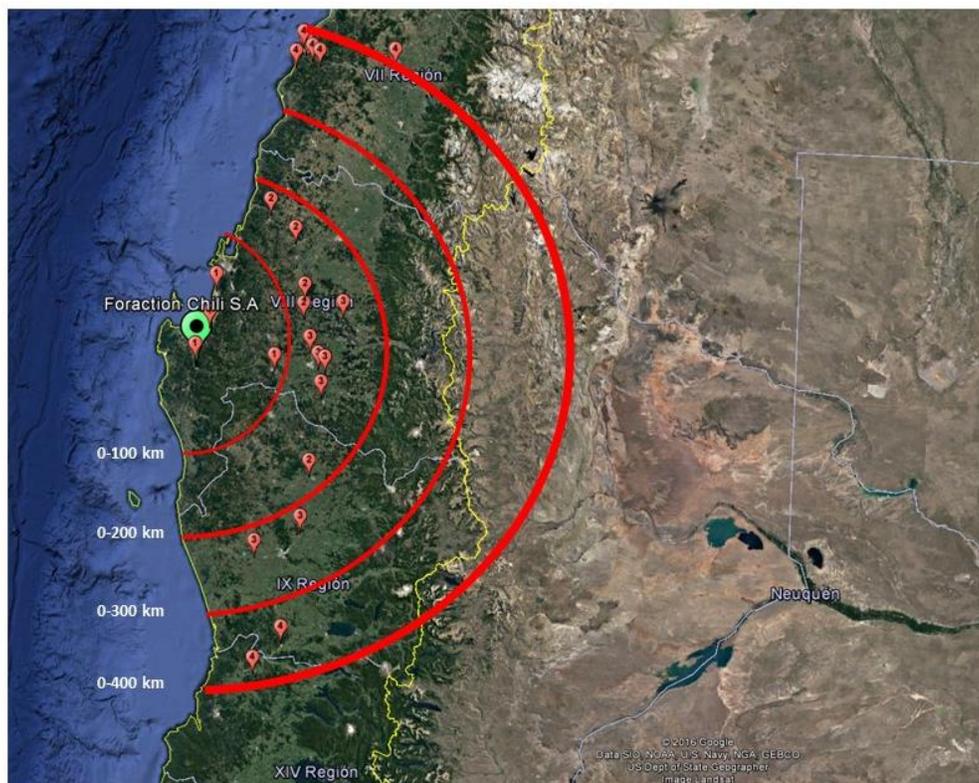
Distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos	Consumo combustible resultante de la distribución de madera (lt/m ³)
1G - 0 M	11,0
0,9G - 0,1 M	11,4
0,8G - 0,2 M	11,7
0,7G - 0,3 M	12,1
0,6G - 0,4 M	12,4
0,5G - 0,5 M	12,7
0,4G - 0,6 M	13,1
0,3G - 0,7 M	13,4
0,2G - 0,8 M	13,8
0,1G - 0,9 M	14,1
0G - 1 M	14,4

(Fuente: Elaboración propia)

La tabla 2 indica la variación en el consumo de energía respecto a la asignación porcentual en la compra de materia prima en aserraderos grandes (G) y aserraderos medianos (M). Por ejemplo, si Foraction Chili S.A decidiera comprar el 70% de su materia prima (140.000 m³/año) en aserraderos grandes y el 30% (60.000 m³/año) en aserraderos medianos, la carga energética que tendría el m³ de madera al momento de ingresar a la planta sería de 6,0 lt de diésel /m³. En ese sentido, al ir variando en 10% el porcentaje de compra de un aserradero respecto de otro se aprecia que en general varía un aproximado de 0,4 lt/m³ al optar por aserraderos en promedio 60 km más lejanos al aserradero de estudio. Además, la diferencia entre comprar toda la materia prima a un aserradero mediano o a uno grande genera que el consumo energético aumente o disminuya 3.4 l/m³.

Así también, para complementar los datos recopilados se categorizaron los aserraderos agrupándolos en rangos cada 100 km, obteniendo los siguientes resultados:

Ilustración 13: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS POR RANGO DE KILÓMETROS”



(Fuente: Elaboración propia)

En un radio 0-200 km se encuentra el 36% de los aserraderos observados, y donde se registra el 53% de los aserraderos grandes susceptibles de suministrar materia prima a Foración. En un rango de 200-400 km se encuentra concentrado el 68% de los aserraderos observados, y donde se registra el 47% de los aserraderos grandes y el 63% de los aserraderos medianos que podrían abastecer a Foración.

El cálculo de las distancias medias se realizó en tramos de 100 km, lo que entregó los siguientes resultados:

Tabla 3: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-100 KM

NOMBRE ASERRADERO	TIPO	DISTANCIA FORACTION	PROMEDIO RANGO 0- 100 KM
Aserraderos Arauco S.A. (Planta El Colorado)	GRANDE	5,8	40,5
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 1)	GRANDE	34,2	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 2)	GRANDE	34,2	
CMPC Maderas S.A. (Planta Nacimiento)	GRANDE	87,6	
Forestal Tromen S.A. (Planta Coronel)	MEDIANO	74	74

(Fuente: Elaboración propia)

Para un radio de 100 km alrededor de Foraction se tiene una distancia media de 41 km respecto a aserraderos grandes y 74 km respecto a aserraderos medianos. Con el objeto de sensibilizar los datos obtenidos se establecieron los mismos supuestos de asignación volumétrica para aserraderos grandes y medianos.

Tabla 4: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-100 KM

Distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos	Consumo combustible resultante de la distribución de madera (lt/m ³)
1G - 0 M	2,2
0,9G - 0,1 M	2,4
0,8G - 0,2 M	2,6
0,7G - 0,3 M	2,8
0,6G - 0,4 M	3,0
0,5G - 0,5 M	3,2
0,4G - 0,6 M	3,4
0,3G - 0,7 M	3,6
0,2G - 0,8 M	3,7
0,1G - 0,9 M	3,9
0G - 1 M	4,1

(Fuente: Elaboración propia)

La tabla 4 indica la variación en el consumo de energía respecto a la asignación porcentual en la compra de materia prima en aserraderos grandes (G) y aserraderos medianos (M). En ese sentido, al ir variando en 10% el porcentaje de compra de un aserradero respecto a otro se aprecia que en general varía un aproximado de 0.2 lt/m³ al optar por aserraderos en promedio 34 km más cercanos o lejanos al aserradero de estudio.



Luego, los utilizando la misma metodología, pero para un radio de entre 0-200 km alrededor de Foraction se tiene una distancia media de 104 km respecto a aserraderos grandes y 131 km respecto a aserraderos medianos (Anexo A1). Con el objeto de sensibilizar los datos obtenidos se establecieron los mismos supuestos de asignación volumétrica para aserraderos grandes y medianos.

El Anexo A2 indica la variación en el consumo de energía respecto a la asignación porcentual en la compra de materia prima en aserraderos grandes (G) y aserraderos medianos (M). En general, al ir variando en 10% el porcentaje de compra de un aserradero respecto a otro se aprecia que en general varía un aproximado de 0.2 lt/m³ al optar por aserraderos en promedio 26 km más cercanos o lejanos al aserradero de estudio. Sin embargo, hay situaciones en que no difiere la carga energética de la madera al comprar ésta en aserraderos grandes o medianos.

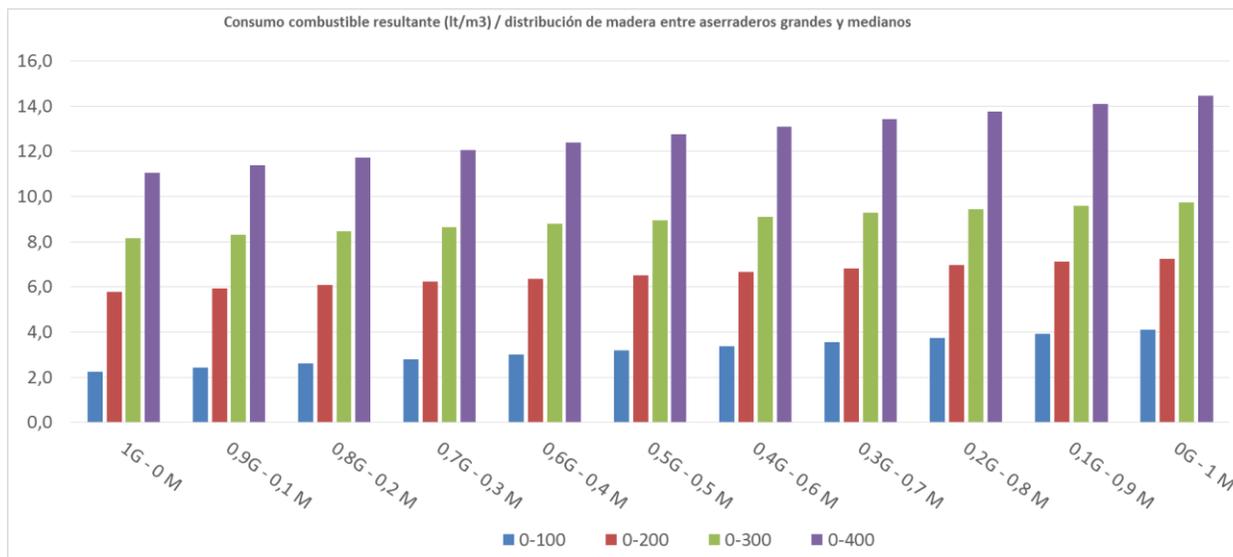
Ahora bien, para un radio de 300 km alrededor de Foraction se tiene una distancia media de 147 km hasta aserraderos grandes y 176 km respecto a aserraderos medianos (Anexo A3). Al igual que el análisis realizado anteriormente, los datos obtenidos se sensibilizan bajo los mismos supuestos de asignación volumétrica. Al ir variando en 10% el porcentaje de compra de un aserradero respecto a otro se aprecia que en general varía un aproximado de 0.2 lt/m³ al optar por aserraderos en promedio 29 km más cercanos o lejanos al aserradero de estudio (Anexo A4).

De acuerdo a la Tabla n^o1, para un radio de 400 km alrededor de Foraction se tiene una distancia media de 199 km hasta aserraderos grandes y 260 km respecto a aserraderos medianos. Al igual que el análisis realizado anteriormente, los datos obtenidos se sensibilizan bajo los mismos supuestos de asignación volumétrica.

Ahora bien, con respecto a los criterios de asignación en la compra de materia prima, de acuerdo al Anexo A5, al ir variando en 10% el porcentaje de compra de un aserradero respecto a otro, se aprecia que en general varía un aproximado de 0.2 lt/m³, aunque hay casos en que se registra una menor variación.

Al comparar el consumo de diésel por m³ de materia prima de todos los rangos se tiene lo siguiente:

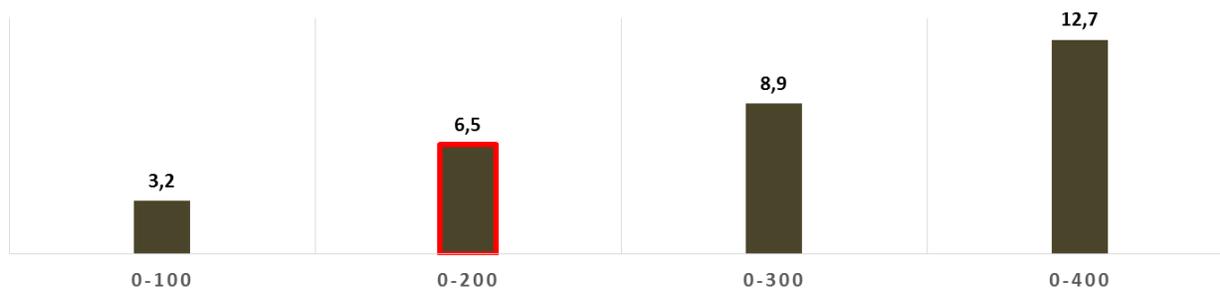
Ilustración 14: “CONSUMO DE DIESEL (LT/M3) POR CRITERIO DE ASIGNACIÓN DE COMPRA”



(Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se puede apreciar que la diferencia en el consumo de combustible es más significativa cuando se discute entre la opción de optar por un proveedor en un radio de 300 km o 400 km, siendo en promedio 3.8lt/m3 mayor en este último caso. Luego, la diferencia se hace menos significativa cuando se elige entre una alternativa ubicada entre 100 y 200 km, siendo en promedio 3.4 lt/m3 mayor en el último caso. Finalmente, la menor diferencia entre rangos de distancia se aprecia para el caso que se opte por un proveedor ubicado en un rango entre 200 y 300 km, siendo 2.4 lt/m3 superior en el caso de que se opte por la mayor distancia. En el siguiente gráfico se aprecia el consumo de energía en lt/m3 promedio de las diferentes asignaciones volumétricas de aserraderos grandes y medianos observados en rangos de 100 km alrededor del aserradero en estudio:

Ilustración 15: “CONSUMO DE DIESEL PROMEDIO (LT/M3) POR RANGO DE KILÓMETROS”



(Fuente: Elaboración propia)



Para efectos del presente estudio, se consideró que el consumo de energía asociado al transporte de materia prima estará establecido por un proveedor con una producción superior a 200.000 m³/año, y que esté ubicado en un perímetro de 200 km a la redonda de Foración Chili. Se determinó este rango debido a que más del 50% de los aserraderos del tipo grandes están ubicados en un radio de 0-200 km alrededor de Foración. De esta forma la asignación de energía sería de 6.5 lt/m³ de madera de Pino Radiata. Por consecuencia, considerando una densidad del diésel de 0,840 kg/lt y un poder calorífico de 10.900 kcal/kg, se tiene un consumo energético de 0,2490 GJ/m³.

5.2.1.2 Descortezado y dimensionamiento de materia prima - consumo eléctrico.

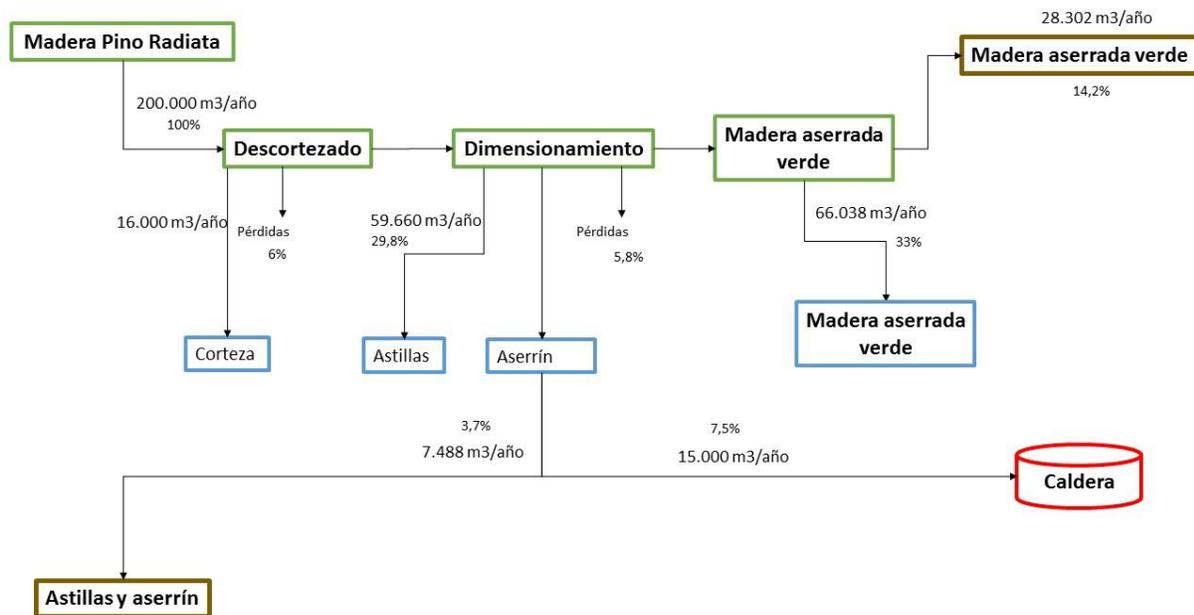
Una vez que las trozas llegan al aserradero, 200.000 m³ de Pino Radiata se localizan en la cancha de acopio de 2.700 m² (Ilustración n°8). En el periodo de verano las trozas son rociadas con agua con un caudal de 34,1 m³/hr obtenida desde el río Curanilahue. Teniendo en cuenta que el periodo de verano tiene una duración de 3 meses, se tiene un consumo de agua total de 73.656 m³/año.

La materia prima será Pino Radiata con un volumen de 200.000 m³/año, la que será apilada en una altura de entre 4 a 5 metros. La distribución de diámetros esperados será la siguiente:

- 100.000 m³ con un diámetro entre 18-22 cm.
- 40.000 m³ con un diámetro entre 24-26 cm.
- 60.000 m³ con un diámetro entre 28-40 cm.

Para la determinación de la energía contenida se realizó un diagrama de flujo determinando el balance volumétrico del proceso de aserrío, considerando el ingreso de la materia prima, subproductos (aserrín, corteza y astillas) y productos (madera aserrada verde).

Ilustración 16: “DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE ASERRADO MATERIA PRIMA”



(Fuente: Elaboración propia)

La primera etapa del proceso de aserrado corresponde al descortezado, el que se realiza a una velocidad de 61 m/min. El proceso genera un 6% de pérdidas producto de la operación (12.000 m³/año) y un 8% de residuos de corteza (16.000 m³/año), los que son enviados al astillado

Luego, los 188.000 m³ de madera descortezada entran al proceso de dimensionamiento, el que opera generando aproximadamente un 49% de pérdidas. Además, del total de residuos, 59.660 m³/año de astillas son enviadas al astillado para su posterior venta, mientras que 7.488 m³/año de aserrín es comercializado directamente como subproducto. Además, 15.000 m³/año de aserrín producido durante el dimensionamiento es utilizado como energía térmica para el funcionamiento de la caldera durante la etapa de secado. Finalmente, la madera resultante a raíz de este proceso tiene un volumen de 94.340 m³/año, de la cual el 30% (28.302 m³/año) es comercializada como madera aserrada verde para la construcción. El 70% restante (66.038 m³/año) es enviada a secado para su remanufactura.

El proceso de aserrado estudiado utiliza la electricidad como su principal fuente de energía para el funcionamiento de la maquinaria, compuesta por:

- Descortezador
- Desmembradora de corteza
- Máquinas aserradoras
- Máquinas para aserrío grueso



- Máquinas para aserrío fino
- Máquinas para recorte
- Trituradora de madera
- Compresor de aire

Dado que la DIA no especifica el consumo eléctrico de la etapa de aserrado, ni los tiempos de uso ni el volumen de la maquinaria involucrada, no fue posible determinar de primera fuente el consumo eléctrico, por lo que se debió estimar comparándolo con proyectos que tienen un similar nivel de producción y que comercializan productos semejantes.

Los proyectos utilizados para estimar el consumo eléctrico se obtuvieron a través del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que es un organismo público chileno cuya función es administrar el Sistema de Evaluación e Impacto Ambiental (SEIA). El SEIA es un instrumento evalúa y certifica que las iniciativas tanto privadas como públicas se encuentren en condiciones de cumplir los requisitos ambientales que le competen. El SEIA en su página web tiene alojado proyectos de aserraderos susceptibles de ser evaluados mediante una Declaración de Impacto Ambiental, lo que permitirá acceder a la información necesaria para el análisis.

Actualmente existen 15 proyectos de aserraderos alojados en la plataforma web del SEIA. Sin embargo, teniendo en consideración el volumen de producción de Foraction Chili, se utilizaron proyectos que tuvieran un rendimiento similar, que comercialicen productos semejantes y que cuenten con la información disponible para que el análisis fuese útil.

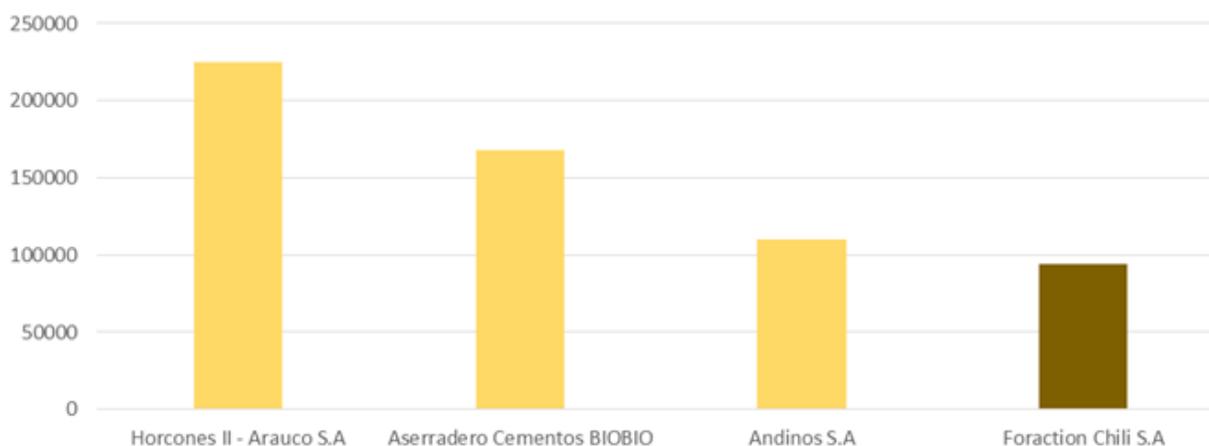
Los proyectos seleccionados fueron los siguientes:

- **Aserradero Horcones II. Arauco S.A:** El proyecto aserradero Horcones II consiste en el diseño, construcción y operación de una planta de aserrío con una capacidad total de producción de 225.000 m³/año de madera aserrada verde de pino radiata. El proyecto se localiza en la Comuna de Arauco, Provincia de Arauco, y dispondrá de aproximadamente 20 há. El aserradero procesa trozos de 12 a 28 cm de diámetro y tendrá un requerimiento de 10.099.200 KWh/año, la que será provista por Arauco Generación S.A.
- **Aserradero Cementos Biobío S.A:** El proyecto aserradero Cementos Biobío consiste en la modificación del actual proceso de aserrío, de manera de modernizar parte de sus instalaciones optimizando su proceso productivo para la generación de 168.000 m³/año de madera aserrada, paneles y molduras. Este cambio consistirá en reemplazar parte de sus instalaciones equipos, utilizando partes del actual aserradero. El proyecto se ubica en la VIII Región del Biobío, provincia de Concepción, comuna de San Pedro de la Paz. El aserradero procesa trozos de 16 a 34 cm y tendrá un requerimiento de 6.389.760 KWh/año.
- **Aserradero Andinos S.A:** El proyecto corresponde a la modificación de una fase del proceso productivo del aserradero considerando el reacondicionamiento de las antiguas instalaciones, instalación de una nueva caldera y la ampliación de la capacidad física instalada en las cámaras de secado. El proyecto contempla la producción de 110.000

m³ entre madera de pino radiata aserrada seca y molduras finger joint., y estará ubicado en la comuna de Cabrero, octava Región del Biobío, aproximadamente a 2,5 km de la Carretera Panamericana 5 sur. El aserradero procesa trozos de 16 a 40 cm, y tendrá un requerimiento de 4.565.760 KWh/año, considerando dos turnos al día de 8 horas.

Comparando el nivel de producción de cada aserradero se tiene el siguiente gráfico:

Ilustración 17: “VOLÚMEN DE PRODUCCIÓN POR ASERRADERO ESTUDIADO (m³)”



(Fuente: Elaboración propia)

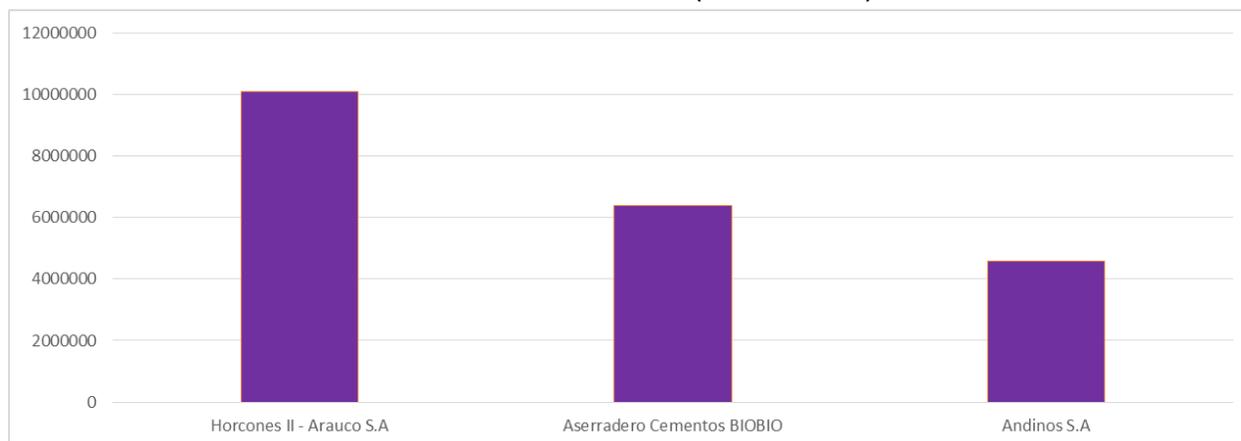
El aserradero con un mayor volumen de producción es Horcones II, con 225.000 m³/año de madera pino radiata aserrada verde. Este aserradero tiene un consumo anual de 500.000 m³/año, teniendo un factor de producción de alrededor del 45%. Teniendo en consideración que la madera comercializada es verde, solo contempla los procesos de selección y almacenamiento de trozas, descortezado y aserrado.

Luego, el aserradero de Cementos Biobío produce 168.000 m³/año de madera aserrada, paneles y molduras de pino radiata, registrando un consumo de 312.000 m³/año y teniendo un factor de producción del 54%. El proceso productivo contempla la selección y almacenamiento de trozas, descortezado, aserrado, secado y remanufactura de la madera de pino radiata. El proceso de secado contempla una caldera que opera utilizando residuos de aserrín obtenidos durante el aserrío.

Finalmente, el aserradero Andinos S.A registra una producción de 110.000 m³/año de pino radiata aserrado seco y molduras tipo finger joint, con un consumo de 210.000 m³/año y un factor de producción de alrededor del 53%. De acuerdo a los productos comercializados por Andinos S.A, su proceso productivo contempla las etapas de almacenamiento de trozas, descortezado, aserrado, reaserrado, secado y remanufactura.

Teniendo en consideración que las DIA de los aserraderos estudiados informan su demanda energética en KWh/mes y en KWh/día, se estableció el criterio de que el proceso de aserrío opera 5 días a la semana con 2 turnos de 8 horas por día. De acuerdo a esto, se obtuvieron los siguientes consumos de energía medidos en KWh/año:

Ilustración 18: “CONSUMO DE ELECTRICIDAD PROCESO DE ASERRADO POR ASERRADERO (KWh/año)”

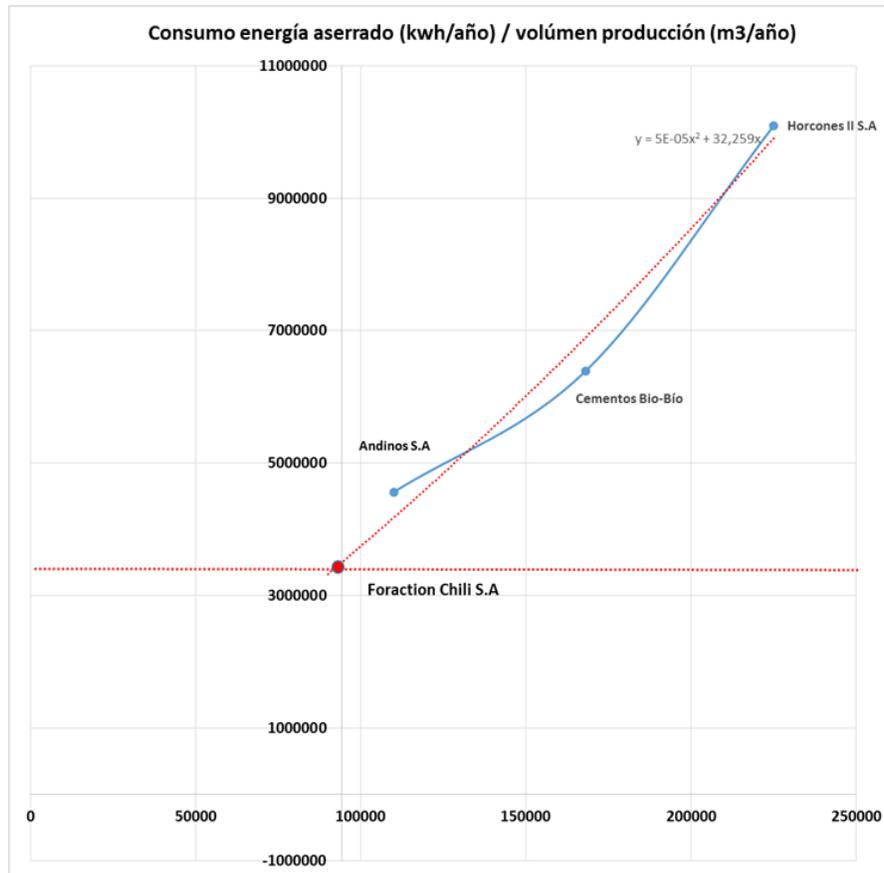


(Fuente: Elaboración propia)

Los tres aserraderos observados tienen un consumo de 21.054.720 KWh/año, siendo el aserradero Andinos S.A quien demanda la menor cantidad de energía, con el 21,6% del total de KWh/año. Luego, el aserradero Cementos Biobío contempla el uso del 30,4% del total de energía, sin embargo, a pesar de consumir un 8,8% más de energía que Andinos S.A tiene una producción un 2,7% superior a este último a pesar de tener un factor de producción menor. Por otra parte, el aserradero Horcones II es el que presenta la mayor demanda energética durante el proceso de aserrío, siendo un 17,6% superior al consumo eléctrico observado en el aserradero Cementos Biobío, a pesar de tener un factor de producción casi idéntico a este último. Estas diferencias pueden deberse a que el cálculo energético del proceso de aserrado estuvo sujeto a interpretaciones de la DIA de cada proyecto, pudiendo diferir de la realidad los resultados que a partir de esta se obtengan.

De acuerdo a lo anterior, el consumo energético del proceso de aserrado del caso de estudio se determinó extrapolando el consumo de energía de los aserraderos anteriormente descritos con la producción de Foraction Chili, obteniendo los siguientes resultados:

Ilustración 19: “EXTRAPOLACIÓN CONSUMO DE ELECTRICIDAD PROCESO DE ASERRADO FORACTION CHILI”



(Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se aprecia una curva tipo exponencial conforme aumenta la producción del aserradero. Para estimar el consumo energético de Foraction Chili se utilizó una línea de tendencia que permitiera visualizar la intersección en el “Y” para el valor de producción del aserradero en estudio (94.340 m³/año). Además, mediante la ecuación que entrega la línea de tendencia es posible obtener un valor más preciso del consumo de energía esperado, obteniendo un total de 3.488.316 KWh/año.

Ahora bien, considerando la producción y el consumo de energía de cada aserradero, durante el proceso de aserrío el consumo de energía por cada m³ de madera procesada es el siguiente:

Ilustración 20: “CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m³) POR ASERRADERO ESTUDIADO”



(Fuente: Elaboración propia)

De los aserraderos observados durante el proceso de aserrío, el aserradero que presenta un menor consumo energético por m³ es el caso de estudio, quien demanda 37 KWh/m³ de madera procesada. Por otra parte, Horcones II es quien presenta el mayor consumo energético por m³, siendo un 18% mayor al observado en el aserradero de caso de estudio.

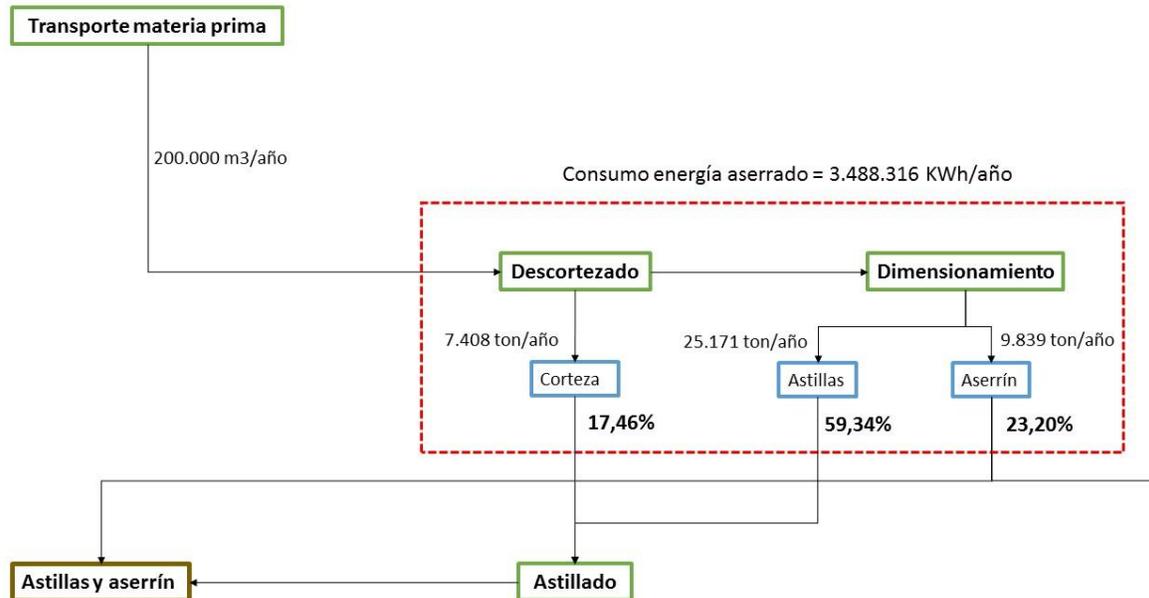
Por otra parte, el proceso de aserrío considera el descortezado y dimensionamiento de la madera, generando corteza (16.000 m³/año), astillas (59.660 m³/año) y aserrín (22.488 m³/año), comercializándose a terceros o utilizándose como biomasa para el funcionamiento de la caldera. Al igual que la madera comercializada, los subproductos que sean distribuidos a clientes también deben ser analizados para determinar su carga energética con el objeto de realizar un ICV más detallado.

En ese sentido, dado que no se tiene el consumo energético específico de los procesos de descortezado y dimensionado, se ponderó su energía mediante un balance de masas, para lo cual se utilizaron las siguientes densidades (base húmeda):

- **Densidad corteza:** 463 kg/m³ (Poblete. H, 1991)
- **Densidad aserrín:** 437,5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007)
- **Densidad astillas:** 421,9 kg/m³ (Cea, H. 2003)

Considerando los volúmenes de producción precisados en el diagrama de flujos se tiene lo siguiente:

Ilustración 21: “ASIGNACIÓN MÁSCICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PROCESO DE ASERRADO DE FORACTION CHILI S.A”



(Fuente: Elaboración propia)

Al considerar una asignación energética de cada subproducto da como resultado que el proceso de descortezado consume el 17,46% del total de energía del proceso de aserrado, mientras que el dimensionamiento el 82,54%. La energía total al finalizar el aserrío debe incluir el transporte de la materia prima, sumándose 0,2490 GJ/m³ a cada subproducto. Lo anterior da como resultado lo siguiente:

Tabla 5: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO PROCESO DE ASERRADO FORACTION CHILI S.A"

	CANTIDAD (kwh/m3)	FACTOR CONVERSIÓN (GJ/KWh)	ENERGÍA ASERRADO (GJ/m3)	ENERGÍA TRANSPORTE (GJ/m3)	ENERGÍA TOTAL (GJ/m3)
CORTEZA	38,066	0,0036	0,137	0,249	0,386
ASTILLAS	34,696	0,0036	0,1249	0,249	0,3739
ASERRÍN	35,988	0,0036	0,1296	0,249	0,3786
MADERA ASERRADA VERDE	36,976	0,0036	0,1331	0,249	0,3821

(Fuente: Elaboración propia)

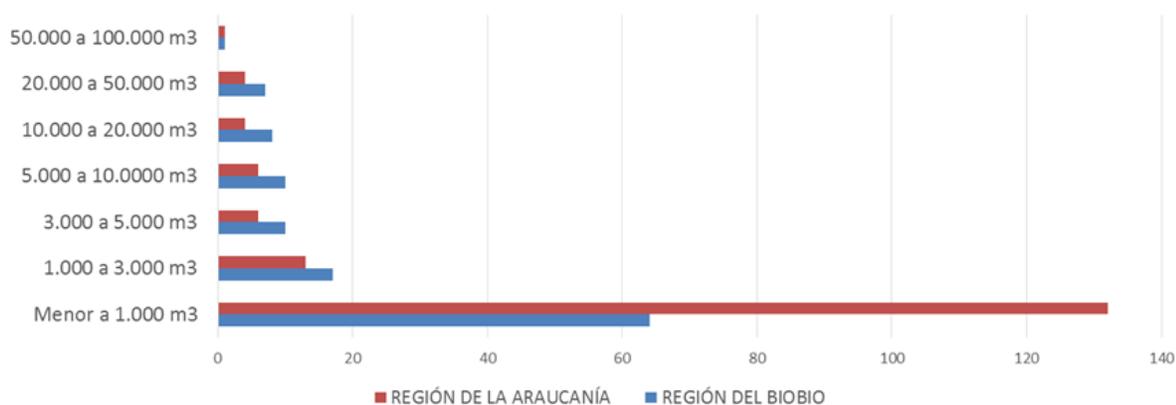
Al finalizar el proceso de aserrío, el caso de estudio contempla la venta del 30% de la producción (28.302 m³/año), por lo que el producto 1 sería despachado al cliente con una carga energética de 0,2595 GJ/m³.

Así también, el aserrín que no es utilizado como biomasa, alrededor de 7.488 m³/año, es comercializado como subproducto con una carga energética de 0,3786 GJ/m³.

5.2.1.3 Transporte de materia prima 50.000 m³ - consumo diésel.

Continuando con el proceso de aserrío, 66.038 m³/año son comercializados previo al proceso de secado (Ilustración n°8). Luego, Foraction Chili compra 50.000 m³/año de madera en basas a pequeños y medianos aserraderos de la zona, a los que se le asocia un consumo de diésel producto de su transporte a Foraction Chili. Teniendo en consideración que la DIA no especifica un proveedor en particular, mediante la base de datos del Instituto Forestal se determinaron los aserraderos medianos y pequeños ubicados en la región del Biobío y de la Araucanía, obteniendo los siguientes resultados:

Ilustración 22: “NÚMERO DE PROVEEDORES DE MATERIA PRIMA POR REGIÓN Y VOLÚMEN DE PRODUCCIÓN”

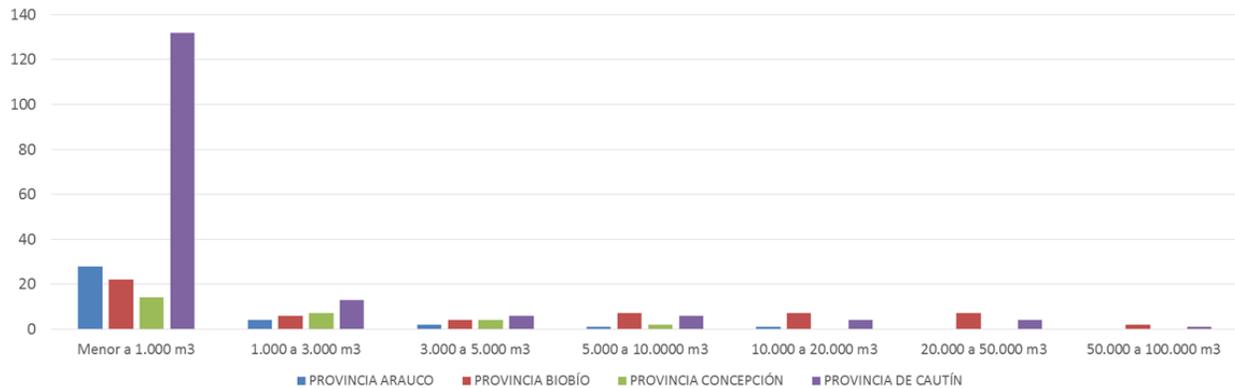


(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a lo anterior, en la zona que rodea al caso de estudio existen un total de 284 aserraderos medianos y pequeños susceptibles de abastecer a Foraction Chili con los 50.000 m³/año de madera en basas. Del total de aserraderos en estudio, el 91% corresponde a aserraderos pequeños con un volumen de producción menor a 10.000 m³/año, ubicándose el 36% de éstos en la Región del Biobío y el 55% en la Región de la Araucanía. Ahora bien, del 91% de aserraderos pequeños, el 69% corresponde a aserraderos con un volumen de producción menor a 1000 m³/año, ubicándose la mayor parte de estos (46%) en la región de la Araucanía y en menor proporción (23%) en la Región del Biobío.

A continuación se grafica el número de aserraderos por Provincia de acuerdo a su volumen de producción:

Ilustración 23: “NÚMERO DE ASERRADEROS EN PROVINCIAS DEL BÍO-BÍO DE ACUERDO A VOLUMENES DE PRODUCCIÓN”

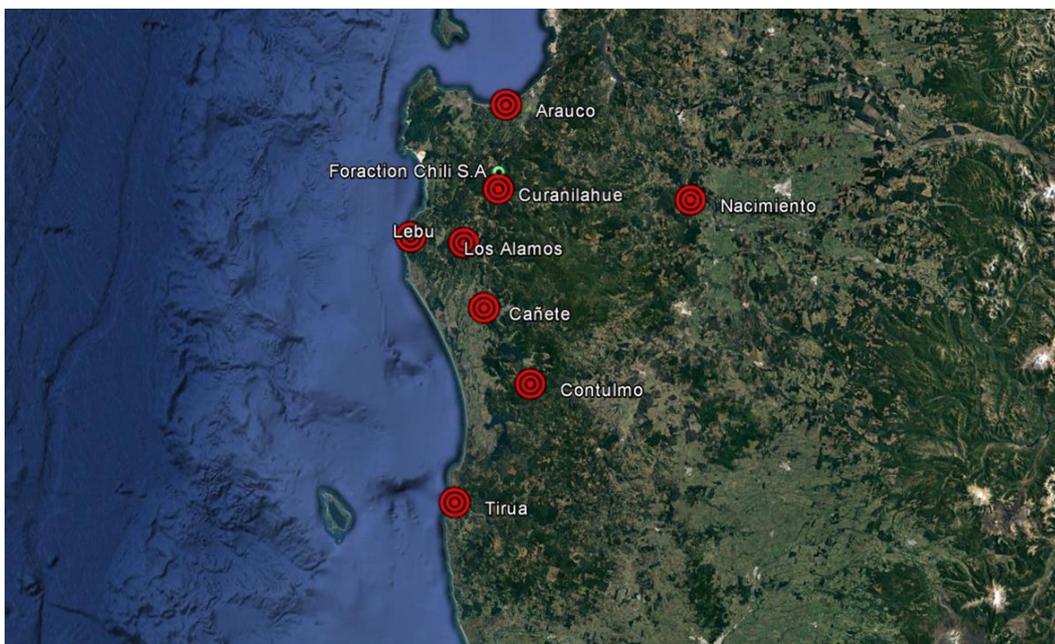


(Fuente: Elaboración propia)

En la Provincia de Cautín se encuentra el 59% de los aserraderos en estudio, comprendido mayoritariamente (55%) por aserraderos pequeños. Luego, la Provincia del Biobío congrega el 19% de los aserraderos, seguido por la Provincia de Arauco quien reúne 13% y finalmente la Provincia de Concepción que agrupa el 9%.

Para la determinación de la distancia promedio entre Foraction Chili y el proveedor de los 50.000 m³/año se utilizó como referencia la media de la distancia comprendida entre Foraction y las principales ciudades cercanas a Curanilahue. Se optó por esta metodología teniendo en cuenta que se necesitan diariamente 208 m³ de madera comprada a medianos y pequeños aserraderos, por lo que se otorga preferencia a proveedores locales. Por otra parte, la gran cantidad de aserraderos disponibles obliga a restringir el análisis con el objeto de obtener un dato representativo. De acuerdo a esto se tiene la siguiente distribución:

Ilustración 24: “PRINCIPALES CIUDADES CERCANAS A CURANILAHUE”



(Fuente: Elaboración propia)

Utilizando un camión de 18 m³, es necesario realizar 2.778 viajes por año desde el proveedor de la materia prima hasta el aserradero de estudio, dando como resultado el siguiente consumo energético:

Tabla 6: "DISTANCIA DESDE FORACTION HASTA PRICIPALES CIUDADES CERCANAS A CURANILAHUE"

	DISTANCIA KM	LT/M3
FORACTION - CURANILAHUE	10	0,56
FORACTION - LEBU	55,6	3,09
FORACTION - LOS ÁLAMOS	29,6	1,64
FORACTION - CAÑETE	48,1	2,67
FORACTION - CONTULMO	82,9	4,61
FORACTION - ARAUCO	37,7	2,09
FORACTION - TIRÚA	115	6,39
FORACTION - NACIMIENTO	154	8,56
PROMEDIO KM	66,6	3,70

(Fuente: Elaboración propia)

De los datos obtenidos, se tiene una distancia promedio de 67 km comprendidos desde Foraction hasta un pequeño o mediano aserradero que pueda dar cumplimiento a los 208 m³

diarios de materia prima que demanda el caso de estudio. Considerando este resultado, y con un rendimiento del camión de 2 km/lt se tiene un consumo energético de combustible de 7.4 lt/m³. Finalmente para dar respuesta a la demanda de Foraction Chili, y considerando una densidad del diésel de 0,840 kg/lt y un poder calorífico de 10.900 kcal/kg, se tiene un consumo energético de 0,1456 GJ/m³ por concepto del transporte.

Una vez Foraction Chili compra 50.000 m³ de madera verde, se tiene un volumen total de 116.038 m³/año de materia prima dispuesta a ser secada. En consecuencia, al ingresar a la cámara de secado la madera trae consigo una energía de 0,3607 GJ/m³.

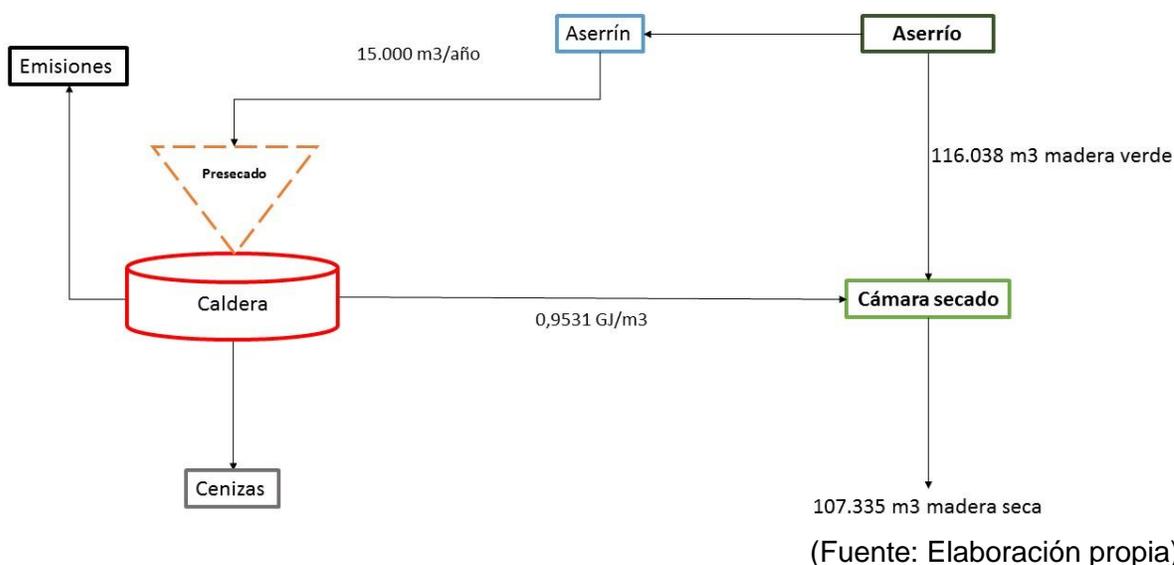
5.2.2 Proceso de secado.

5.2.2.1 Consumo de biomasa.

El proceso de secado contempla la utilización de una superficie de 1.172 m², dispuesta para albergar 7 cámaras de secado de 320 m³ de capacidad.

Las cámaras de secado funcionarán con residuos provenientes del proceso de aserrío con el que se generará vapor de agua para el secado de la madera. El stock de combustible debe abastecer 72 horas de operación de las calderas, demandando un consumo anual de 15.000 m³ de aserrín al año obtenido de la etapa de dimensionamiento. Para la determinación de la energía contenida se realizó un diagrama de flujo determinando el balance volumétrico del proceso de secado, considerando el ingreso de la materia prima, combustión de aserrín y transporte de cenizas.

Ilustración 25: “DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE SECADO FORACTION CHILI S.A”



Las cámaras de secado serán alimentadas por 2 calderas de 400 HP cada una, con una capacidad de generación de 4e10 kcal. La biomasa utilizable será previamente secada por la radiación generada a raíz del funcionamiento de la caldera con el objeto de optimizar la combustión. Este punto es muy importante, puesto que el contenido de humedad toma relevancia al momento de generarse la combustión, pudiendo inclusive disminuir la temperatura de la cámara al utilizar madera con contenidos de humedad superior al 60%. Esto se produce debido a que se necesita energía para evaporar el agua contenida en la madera, disminuyendo la energía disponible en el combustible.

Al finalizar el proceso de aserrío la madera tiene una humedad de entre un 50-55%, sin embargo, se desconoce hasta qué punto el aserrín es secado previo al ingreso en la cámara de combustión. Por ende, se establece el supuesto de que el aserrín ingresa a la cámara con una humedad del 15%.

Por lo anterior, el Poder Calorífico Inferior (PCI) permite determinar la energía efectivamente disponible a utilizar en el proceso de secado, calculado mediante la siguiente expresión (Van Loo, Sjaak et al 2008., Sterling, 2008):

$$PCI = PCS (1 - w'/100) - 2,444 (w'/100) - 2,444 [(h/100) * 8,936 (1 - w'/100)]$$

Donde:

PCI = Poder Calorífico Inferior, medido en MJ/Kg de aserrín con base húmeda

PCS = Poder Calorífico Superior en MJ/Kg de aserrín con base seca

w' = Contenido de agua en el aserrín en porcentaje del peso (base húmeda)

8,936 = Relación de masa molecular entre el agua y el hidrógeno, adimensional.

h = Concentración de hidrógeno en porcentaje del peso (base seca). Usualmente 6% para la madera.

Para el caso de estudio se utilizó el poder calorífico superior del aserrín de pino seco al 0%, con un valor de 20,08 MJ/kg (Fernandoy, M. 2007).

Reemplazando en la fórmula se tiene que el aserrín de pino radiata con un 15% de humedad entrega a la caldera 15,588 MJ/Kg de aserrín, energía con la cual se pretende secar la madera mínimo hasta un 12% de humedad. En suma, durante un año regular Foraction Chili utilizará 102.296.250 MJ considerando una densidad del aserrín de 437,5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007) y una masa de 6.562.500 kg. Como consecuencia del proceso de secado la madera presenta una contracción volumétrica del 7,5 %, produciendo 107.335 m³/año de madera aserrada seca al que se le asigna una energía de 0,9531 GJ/m³.

Al iniciar el proceso de aserrío la madera trae consigo una humedad de entre 50-55%. En el caso de que Foraction Chili desee utilizar aserrín verde como biomasa con una humedad promedio de 52,5%, el poder calorífico disponible disminuiría a 7,63 MJ/Kg, más de la mitad al que otorga el aserrín con 15% de humedad. En ese sentido, resulta favorable que Foraction

Chili seque la biomasa previa a su utilización, ya que dispondría del doble de energía utilizando la misma caldera, pudiendo inclusive comercializar el aserrín sobrante.

5.2.2.2 Transporte de cenizas - consumo diésel.

Las calderas tendrán un sistema automatizado que permite el transporte de las cenizas hasta un contenedor localizado fuera del aserradero, las que posteriormente serán trasladadas a un vertedero ubicado a 7 km del aserradero de estudio para su disposición final.

La masa resultante de cenizas de aserrín se determinó de acuerdo a un estudio del calor de combustión del pino insigne (Melo, R. et al. 1995), donde se establece que el porcentaje de cenizas en el aserrín, considerando el poder calorífico superior, es de 0,89%.

Por consiguiente, dado que el estudio expresó sus resultados en relación al poder calorífico superior, se debe restar el 15% de humedad de humedad con que el aserrín ingresa a la cámara de combustión. Por lo tanto, la masa de cenizas resultantes producto de la combustión de 15 m³ de aserrín es 49,65 ton/año.

Se considera que el transporte de cenizas al vertedero se realiza en camiones con una capacidad de carga de 12 toneladas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7: "DISTANCIA MEDIA FORACTION A VERTEDERO DE CURANILAHUE"

	DISTANCIA KM	N° VIAJES / AÑO	KM RECORRIDOS	KM/LT	TOTAL LITROS
FORACTION - VERTEDERO	7	5	35	1,7	20,6

El volumen de madera que ingresa al proceso de secado corresponde a 66.038 m³ de madera resultante del proceso de aserrío. Además, se añaden al proceso 50.000 m³ de madera verde comprada a pequeños y medianos aserraderos de la zona, lo que entrega un volumen de anual de 116.038 m³. Como consecuencia del proceso de secado la madera presenta una humedad inferior al 12%, además de una disminución del 7,5 % de su volumen.

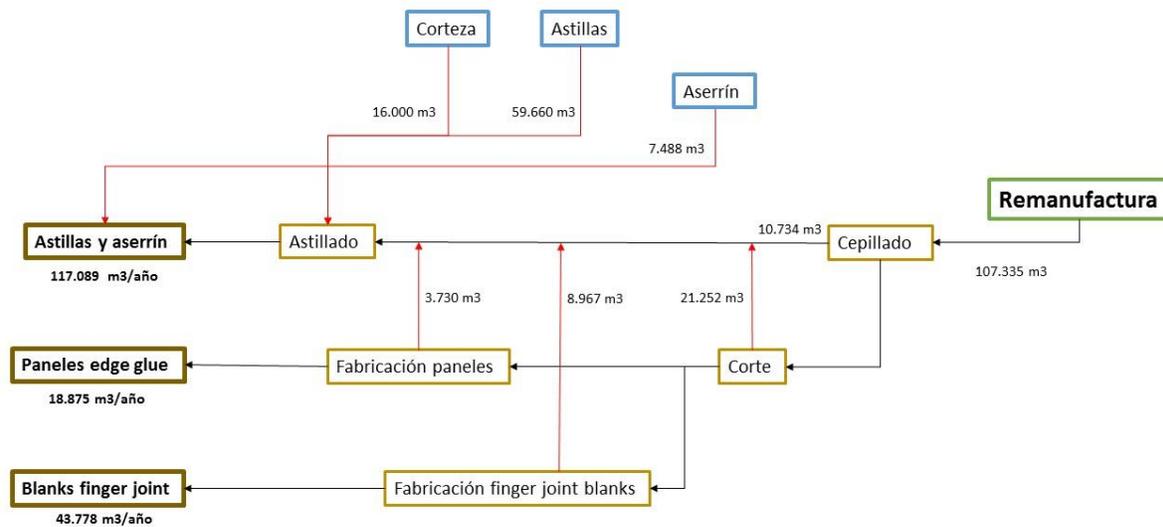
En ese sentido, los 20,6 litros de diésel utilizados para transportar las cenizas al vertedero se asignan a los 107.335 m³ de madera seca resultante del proceso de secado, teniendo como consecuencia un consumo de combustible de 1.92 e-4 lt/m³ de madera seca. En ese sentido, considerando una densidad del diésel de 0,840 kg/lt y un poder calorífico de 10.900 kcal/kg, se tiene un consumo energético de 7,36e-6 GJ/m³ por concepto del transporte de cenizas al vertedero.

En resumen, al finalizar el proceso de secado, la madera trae consigo una carga energética total de 1,2854 GJ/m³, referida al proceso de aserrío, transporte y secado de la materia prima.

5.2.3 Proceso de Remanufactura

Finalizado el proceso de secado, 107.335 m³ de madera ingresan a la etapa de remanufactura con el objeto de producir blanks finger joint, astillas y aserrín y paneles edge glue (Ilustración n°8). El proceso presenta el siguiente diagrama de flujos:

Ilustración 26: “DIAGRAMA DE FLUJOS PROCESO DE REMANUFACTURA FORACTION CHILI S.A”



(Fuente: Elaboración propia)

La remanufactura de la madera utiliza una superficie de 8.037 m², incluyendo los procesos de cepillado, corte y ensamble de blanks, además de un espacio para el almacenamiento de residuos de aserrín y despuntes.

El cepillado corresponde al primer proceso de la remanufactura, contemplando la siguiente maquinaria:

- Cintas transportadores
- Máquinas cepilladoras
- Mesa clasificadora
- Trozadora múltiple
- Chipeadora

El cepillado generará aproximadamente un 10% de pérdidas, produciendo 10.734 m³/año de viruta y polvo de madera que serán extraídos mediante un sistema de aspiración hacia una correa transportadora con dirección al depósito de aserrín. También, los residuos generados

por el despuntador serán reducidos a aserrín por la chipeadora y dirigidos por la correa transportadora hacia el depósito de aserrín del astillador.

Luego, el volumen de madera resultante es inspeccionado visualmente antes de ingresar a la línea de corte grueso. Ésta última está compuesta por sierras de corte grueso y sierras trozadoras destinadas a cortar los tablonés en tamaños de entre 2 $\frac{3}{8}$ y 4 $\frac{7}{8}$ ". La operación de los equipos genera un 22% de pérdidas, alrededor de 21.252 m³/año de despuntes que serán transportados mediante una cinta transportadora hacia la chipeadora donde serán reducidos a aserrín para su posterior comercialización.

A continuación, 75.349 m³ de madera resultante del proceso de corte será procesada con el objeto de producir 43.778 m³/año de piezas de madera sólida unida mediante finger joint (blanks) y 18.875 m³/año de paneles sin nudos unidos de canto (edge glue). En ese sentido, la fabricación paneles requerirá 22.605 m³/año de madera cepillada seca, teniendo un 16,5% de pérdidas y generando 3.730 m³ de residuos. Así también, la fabricación de blanks demandará 52.744 m³/año de madera cepillada seca, teniendo un 17% de pérdidas y generando 8.967 m³ de residuos que, al igual que en la fabricación de paneles, serán derivados hacia el depósito de aserrín para su comercialización.

Finalmente, los bloques resultantes son seleccionados en clases de acuerdo a su calidad y tamaño, apilándose en paquetes entre 2 y 8 metros para luego ser distribuidos en camiones de 27 m³ de capacidad.

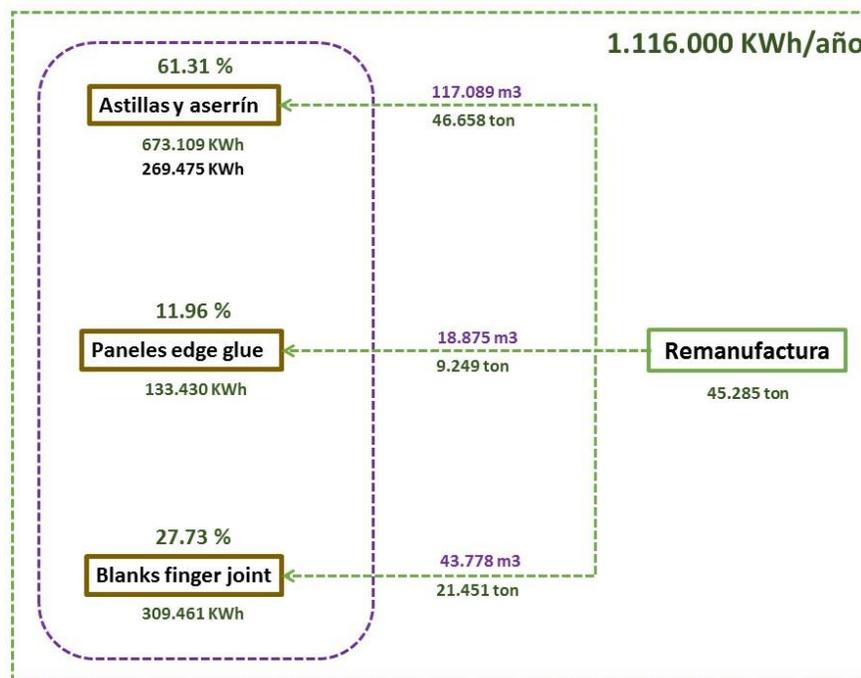
5.2.3.1 Manufactura - Consumo eléctrico

En concordancia con el objetivo del inventario y de acuerdo a la DIA del caso de estudio, el consumo energético que demanda la manufactura es de 1.116.000 KWh/año. Ahora bien, con el objeto de asignar la energía eléctrica a los productos comercializados por el caso de estudio, se realizó un balance de masas a los m³ de cada producto resultante de ésta etapa. Para esto se utilizaron las siguientes densidades:

- **Densidad Aserrín:** 437.5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007)
- **Densidad Astillas:** 421.9 kg/m³ (Cea, H. 2003)
- **Densidad Blanks Finger Joint:** 490 kg/m³ (Tablev, 2016)
- **Densidad Paneles Edge Glue:** 490 kg/m³ (Tablev, 2016)

Para el caso del producto Astillas y Aserrín, teniendo en cuenta que no se cuenta con la proporción de aserrín o astillas presentes en los 117.089 m³ comercializados, se consideró como volumen total de aserrín los 16.000 m³ provenientes del descortezado de la materia prima y a los 10.734 m³ de residuos resultantes de la etapa de cepillado de la madera aserrada seca. De acuerdo a lo anterior se tiene lo siguiente:

Ilustración 27: “BALANCE DE MASA PROCESO DE REMANUFACTURA FORACTION CHILI S.A”



(Fuente: Elaboración propia)

Al determinar la contribución energética de cada producto de acuerdo a la masa resultante, da como consecuencia que la fabricación de blanks finger joint demande un 27.73% del total de electricidad del proceso de remanufactura (309.461 KWh/año). Así también, la elaboración de paneles tipo edge glue consumirá el 11.96% del total de electricidad (133.430 KWh/año). Por último, la comercialización de las astillas y aserrín producidos durante el proceso de remanufactura requerirá el 61.31% del total de energía (673.109 KWh/año).

Se considera como aserrín a los residuos provenientes del cepillado del pino radiata seco y a los residuos de corteza resultantes del descortezado de la materia prima. De acuerdo a lo anterior, se tiene una masa de 11.696 ton (26.734 m³) de aserrín y 34.962 ton (82.867 m³) de astillas. Sin embargo, para obtener el consumo total de energía de astillas y aserrín comercializables, es necesario sumar la carga energética que traen consigo los 7.488 m³ de aserrín provenientes del dimensionamiento de la materia prima (269.475 KWh/año).

La energía total al finalizar el proceso productivo de Foraction Chili debe incluir las energías contempladas en los procesos anteriores, incluyendo transporte de materia prima, aserrado y secado. De acuerdo a lo anterior, se tiene lo siguiente:

Tabla 8: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PRODUCTOS DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A"

	CANTIDAD (kwh/m3)	FACTOR CONVERSIÓN (GJ/KWh)	ENERGÍA MANUFACTURA (GJ/m3)	ENERGÍA TRANSPORTE (GJ/m3)	ENERGÍA SECADO (GJ/m3)	ENERGÍA ASERRADO (GJ/m3)	ENERGÍA TOTAL (GJ/m3)
ASTILLAS Y ASERRÍN	8,0501	0,0036	0,0290	0,2276	0,9531	0,1331	1,3428
BLANKS FINGER JOINT	7,0691	0,0036	0,0254	0,2276	0,9531	0,1331	1,3392
PANELES EDGE GLUE	7,0689	0,0036	0,0254	0,2276	0,9531	0,1331	1,3392

(Fuente: Elaboración propia)

Las astillas y el aserrín comercializado por Foraction Chili se obtienen como un subproducto de los procesos de aserrío, cepillado y corte de la madera, sin embargo debido a su volumen se le asigna gran parte de la energía demandada por el aserradero.

5.3 Procesamiento de datos consumo energía

Para dar respuesta al primer Objetivo Específico de la presente investigación, se comenzó levantando la información del aserradero descrita en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) de Foraction. De acuerdo a esto, se subdividió el proceso productivo en 3 partes: aserrío, secado y manufactura de la materia prima.

El proceso de aserrío se detalló considerando todas las entradas de materia prima, energía y combustibles. El consumo de combustibles destinado al transporte de 200.000 m³/año desde el proveedor de materia prima a Foraction Chili, se realizó considerando la distancia media entre los aserraderos medianos (producción 10.000 - 100.000 m³/año) y aserraderos grandes (producción sobre 100.000 m³/año) ubicados desde la región del Maule a la región de la Araucanía. La ubicación de cada aserradero se determinó a través de la base de datos del Instituto Forestal del año 2013, georreferenciando su ubicación en Google Earth para el posterior cálculo de la distancia. Luego, la información recopilada se organizó separando los aserraderos del tipo grande y mediano, determinado la distancia media para cada uno. Posteriormente, para sensibilizar los datos obtenidos se estableció el supuesto de que la materia prima será adquirida tanto en aserraderos grandes como medianos, variando la proporción de compra entre cada uno para determinar su influencia en el consumo de combustible. Así también, utilizando la misma metodología se categorizaron los proveedores de materia prima en rangos cada 100 km con el objeto de obtener una aproximación más cercana. Una vez se obtuvo la distancia media entre el proveedor de materia prima y Foraction Chili se procedió a realizar el cálculo energético, para lo cual se consideró una densidad del diésel de 0,840 lt/m³ y un poder calorífico de 10.900 kcal/kg. Además, la DIA estipula que el transporte de la materia prima se realiza en camiones de 18 ton de capacidad, con un rendimiento estimado en carretera de 2,0 km/lt.

Por otra parte, el proceso de aserrío también contiene las actividades de descortezado y dimensionamiento de la materia prima. Ahora bien, dado que la DIA no estipula los consumos de energía específicos para cada actividad, se estimó el consumo energético total del proceso comparándolo con proyectos que tienen un similar nivel de producción y que comercializan



productos similares. La recopilación de información de cada proyecto se obtuvo a través del Servicio de Evaluación Ambiental, organismo público chileno cuya función es administrar el Sistema de Evaluación e Impacto Ambiental (SEIA). El SEIA tiene alojado en su página web los estudios y declaraciones de impacto ambiental de proyectos de aserraderos o reacondicionamiento de aserraderos con información técnica que permitirá realizar la comparación. Después, se compararon los consumos de energía del aserrado graficando el consumo energético y la producción, obteniendo una línea de tendencia que permitió extrapolar la producción de Foraction (94.340 m³/año). Una vez se obtuvo la energía estimada del proceso de aserrío, se asignó el consumo energético específico al descortezado y dimensionado de la materia prima de acuerdo a la producción volumétrica de cada subproducto.

A continuación, al igual que para el cálculo de la distancia en el transporte de los 200.000 m³ de materia prima, se determinó la energía del transporte de los 50.000 m³ comprados por Foraction Chili a medianos y pequeños aserraderos de la zona. De acuerdo a esto, la base de datos del Instituto Forestal registra 284 pequeños y medianos aserraderos susceptibles de dar cuenta de las necesidades de Foraction Chili. Sin embargo, al contrario del cálculo energético del transporte de los 200.000 m³, se utilizó como referencia la media de la distancia comprendida entre Foraction y las principales ciudades cercanas a Curanilahue, ya que la gran cantidad de aserraderos disponibles obliga a restringir el análisis disminuyendo la posibilidad de obtener un dato más preciso. De igual manera, para el cálculo energético se utilizó la misma densidad del diésel de 0,840 lt/m³, poder calorífico de 10.900 kcal/kg y camiones de 18 ton. de capacidad con un rendimiento de 2,0 km/lt en carretera. Finalmente, el cálculo total del consumo específico de diésel se realizó asignando volumétricamente el consumo específico para cada volumen transportado, resultando lo siguiente: El 80% de la materia prima (200.000 m³) será transportada generando un consumo de diésel de 3.3 lt/m³, mientras que el 20% (50.000 m³) de la materia prima restante será movilizada produciendo un consumo de diésel de 1.9 lt/m³. Por último, el consumo específico de diésel total destinado al transporte de materia prima resulta en 3.02 lt/m³.

El siguiente proceso productivo comprende el secado de la madera aserrada dimensionada. La DIA estipula que las calderas operan con residuos provenientes del dimensionamiento de la materia prima (15.000 m³/año), la que será previamente secada por la radiación generada a raíz de su funcionamiento con el objeto de optimizar la combustión. Al finalizar el proceso de aserrío, la madera tiene una humedad entre un 50-55%, sin embargo, se desconoce hasta qué punto el aserrín es secado previo al ingreso en la cámara de combustión. Por ende, se establece el supuesto de que el aserrín ingresa a la cámara con una humedad del 15%. En ese sentido, para cuantificar la energía efectivamente disponible de acuerdo al contenido de humedad supuesto, se calcula el Poder Calorífico Inferior del aserrín considerando un Poder Calorífico Superior de 20,08 MJ/kg.

El proceso de secado de la materia prima utiliza 15.000 m³/año de aserrín, los que generarán 49,65 toneladas de ceniza al año que deberán ser transportadas a un vertedero autorizado. La masa de cenizas se determinó de acuerdo a un estudio sobre el calor de combustión del pino



insigne (Melo, R. et all. 1995), donde se establece que el porcentaje de cenizas en el aserrín de acuerdo a su poder calorífico superior alcanza el 0,89%.

Luego, teniendo una distancia de 7 km desde Foracion Chili al vertedero autorizado, utilizando camiones de 10 ton con un rendimiento en ciudad de 1,7 km/Lt se tiene un total de 20,6 litros anuales necesarios para el transporte de cenizas. Para el cálculo energético se utilizó la misma densidad del diésel de 0,840 Lt/m³ y un poder calorífico de 10.900 kcal/kg.

Finalizado el proceso de secado, la materia prima ingresa a remanufactura con el objeto de producir blanks finger joint, paneles edge glue y astillas y aserrín. Teniendo en cuenta que la DIA no entrega información referente a los consumos específicos de cada subproceso (cepillado, corte, línea finger joint y línea paneles) ni los tiempos de uso de cada maquinaria, se ponderó su energía realizando una asignación porcentual de acuerdo a la masa resultante de cada producto comercializado.

Para la determinación de la masa de las Astillas y Aserrín comercializado, se considera como aserrín a los residuos provenientes del cepillado del pino radiata seco y a los residuos de corteza resultantes en el proceso de descortezado de la materia prima. De acuerdo a esto, del total de masa del producto se tiene que el 25.07% corresponde a aserrín con una densidad de 437.5 kg/m³, mientras que el 74.93% corresponde a astillas con una densidad de 421.9 kg/m³. De acuerdo a esto, al finalizar el proceso de manufactura, la fabricación de blanks finger joint consumirá el 27.73% del total de energía de remanufactura, mientras que la fabricación de paneles y astillas y aserrín el 11.96% y 61.31% respectivamente. Sin embargo, para obtener el consumo total de energía de astillas y aserrín comercializables, es necesario sumar la carga energética que traen consigo los 7.488 m³ de aserrín provenientes del dimensionamiento de la materia prima (269.475 KWh/año).

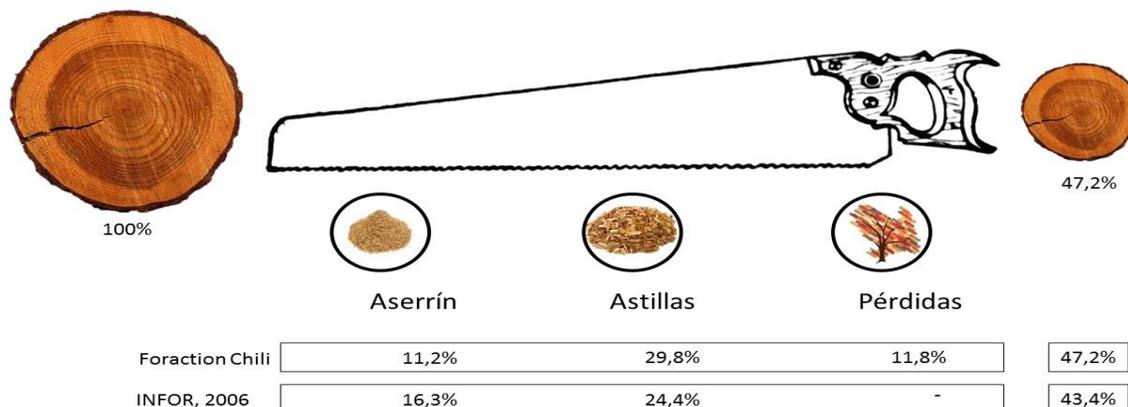
Finalmente, para la determinación de la energía total al concluir el proceso productivo se deben sumar todas las energías contempladas en procesos anteriores, incluyendo transporte, secado y aserrío de la materia prima.

5.4 Validación de la producción

Para la validación de los datos del inventario se realizó un balance de volúmenes, además de un análisis comparativo con estudios realizados por el Instituto Forestal (INFOR) y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) en el año 2006 (González, P. 2006), teniendo en consideración que estos estudios basaron su análisis en aserraderos con volúmenes de producción diferentes, la comparación se realizará en base a porcentajes. Por otra parte, resulta complejo realizar una comparación más allá del proceso de aserrado, ya que la distribución de la producción difiere conforme a las necesidades del mercado, por lo que sus resultados no serían representativos.

En el siguiente diagrama se aprecia la validación de la producción.

Ilustración 28: “VALIDACIÓN DE PRODUCCIÓN FORACTION CHILI S.A”



(Fuente: Elaboración propia)

Del diagrama se aprecia que no existen diferencias sustanciales entre los porcentajes de astillas y madera aserrada verde. En el caso del aserrín se aprecia una diferencia un poco mayor, siendo 5.1% mayor en el caso del estudio del INFOR.

5.5 Resumen consumo energía por producto y subproducto.

A continuación se presenta el consumo energético por producto y subproducto generado por Foraction Chili.

Tabla 9: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A"

MADERA ASERRADA VERDE	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (GJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL	3,3	lt/m3	0,84 kg/lt	10900 Kcal/kg	0,249	65,17
CONSUMO ELÉCTRICO	36,976	KWh/m3	-	0,0036 GJ/KWh	0,1331	34,83
					0,3821	100%

BLANKS FINGER JOINT	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (GJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL	5,2	lt/m3	0,84 kg/lt	10900 Kcal/kg	0,2276	16,99
CONSUMO ELÉCTRICO	44,045	KWh/m3	-	0,0036 GJ/KWh	0,1586	11,84
CONSUMO BIOMASA	15,588	MJ/kg	-	437 kg/m3	0,9531	71,16
					1,3393	100%

PANELES EDGE GLUE	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (GJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL	5,2	lt/m3	0,84 kg/lt	10900 Kcal/kg	0,2276	16,99
CONSUMO ELÉCTRICO	44,045	KWh/m3	-	0,0036 GJ/KWh	0,1586	11,84
CONSUMO BIOMASA	15,588	MJ/kg	-	437 kg/m3	0,9531	71,16
					1,3393	100%

ASTILLAS Y ASERRÍN	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (GJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL	5,2	lt/m3	0,84 kg/lt	10900 Kcal/kg	0,2276	16,95
CONSUMO ELÉCTRICO	45,026	KWh/m3	-	0,0036 GJ/KWh	0,1621	12,07
CONSUMO BIOMASA	15,588	MJ/kg	-	437 kg/m3	0,9531	70,98
					1,3428	100%

(Fuente: Elaboración propia)

5.6 Validación de datos consumo energía

Conforme a los requisitos estipulados por la ISO 14.040:2006, la validación de los resultados se realizó una comparación con estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, y el Consorcio para la Investigación de Materiales Industriales Renovables (CORRIM).

En el primero se presenta el promedio de los consumos energéticos de aserraderos en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el año 1983 (FAO, 1991). El estudio se concentra en medianos y pequeños aserraderos que producen tableros de partículas y contrachapados, sin embargo también se detallan los consumos de energía específicos de madera aserrada seca. Se decide comparar solo el subproducto madera aserrada seca, ya que el proceso productivo para la fabricación de paneles de partículas y contrachapados difiere al del caso de estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se excluye del análisis la energía destinada al cepillado de la materia prima.

A continuación se presenta el promedio del consumo energético específico de aserraderos en países miembros de la OCDE para el año 1983:

Tabla 10: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PROCESOS DE ASERRADO Y SECADO EN ASERRADEROS DE PAÍSES MIEMBROS DE LA OCDE PARA EL AÑO 1983"

	ENERGÍA CONTENIDA (GJ/m3)	ENERGÍA TÉRMICA (GJ/m3)
ASERRADO	0,1848	-
SECADO	-	1,2817
TOTAL	0,1848	1,2817

(Fuente: Elaboración propia)

El cuadro muestra que la energía necesaria para secar la madera en horno de vapor comprende el 87,4% del total de energía, mientras que la energía del aserrado el 12,6%.

Ahora bien, al comparar los datos con el aserradero en estudio se tiene que Foraction Chili consume un 28% menos de energía al descortezar y dimensionar la materia prima. Sin embargo, al comparar los datos de energía térmica se distingue un consumo de energía un 78,4% superior en países de la OCDE en relación al caso de estudio. No obstante, al comparar el consumo total de energía, se aprecia claramente la importancia de la energía térmica, representando el 87% del total para ambos estudios.

Por otra parte, los resultados también fueron comparados con dos estudios del CORRIM, referentes a análisis de ciclo de vida de la cuna a la puerta de la madera blanda aserrada seca cepillada producida en el sureste y noroeste de EE.UU. Sin embargo, teniendo en consideración que Foraction Chili no comercializa madera cepillada, no se incluyeron en la comparación la energía correspondiente al cepillado, comparándose solo los consumos de aserrío (energía contenida) y secado de la madera (energía térmica). Al igual que Foraction, ambos casos utilizan electricidad para realizar el aserrío, por lo que se decidió considerar sólo éste energético para realizar la comparación.

Tabla 11: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PROCESOS DE ASERRADO Y SECADO EN ESTUDIOS DEL CORRIM"

	Estudio 1: CORRIM, noroeste EE.UU		Estudio 2: CORRIM, sudeste EE.UU	
	ENERGÍA CONTENIDA (GJ/m3)	ENERGÍA TÉRMICA (GJ/m3)	ENERGÍA CONTENIDA (GJ/m3)	ENERGÍA TÉRMICA (GJ/m3)
ASERRADO	0,1733	-	0,1220	-
SECADO	0,1017	1,59726	0,0668	2,34713
TOTAL (GJ/m3)	1,8723		2,5359	

(Fuente: Elaboración propia)

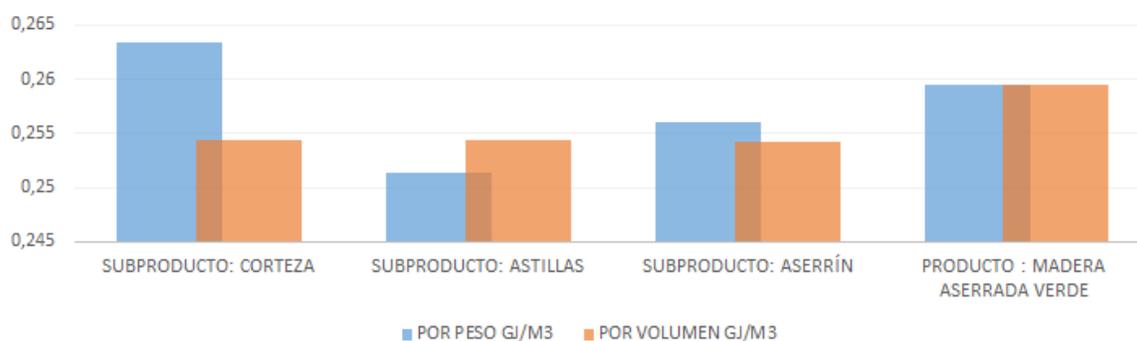
De acuerdo a los resultados obtenidos, se distingue que los procesos de aserrados difieren en cuanto a su consumo energético, siendo un 29% superior el caso al sudeste de EE.UU. Por otra parte, al comparar con Foraction Chili se aprecia que el proceso de aserrado para el caso al noroeste de EE.UU consume un 30,2% más de energía, mientras que en el caso del sudeste presenta un consumo 8,3% superior al de Foraction. Por otro lado, en relación a la energía utilizada para el secado de la materia prima se aprecian mayores diferencias, principalmente por la disimilitud en el consumo de biomasa y gas natural para el funcionamiento de la caldera. El estudio realizado al noroeste americano utiliza como combustible gas natural (19,85 m3 gas/m3) y biomasa (76,55 kg/m3) para el secado de la madera. En cambio, el otro caso utiliza prácticamente biomasa para el funcionamiento de la caldera (111 kg/m3), además de electricidad para filtrar los residuos de ésta.

Ahora bien, al comparar los consumos energéticos totales se aprecia claramente un aumento en el consumo energético del secado de la materia prima, consumiendo el primer estudio un 78% más de energía que Foraction, mientras que el segundo estudio un 153% más. No obstante, de acuerdo a la información entregada por la DIA, para el presente estudio se determinó la energía del proceso de secado de Foraction suponiendo un 15% de humedad en el aserrín, lo que puede generar diferencias respecto al consumo energético real del proceso.

5.7 Sensibilización de los datos

En relación a los requisitos de la ISO 14040:2006, el análisis de sensibilidad se realizó utilizando una asignación por masa en vez de volumen. Para evidenciar la sensibilidad de la asignación volumétrica se distribuye la energía eléctrica de acuerdo al volumen de productos y subproductos generados en la etapa de aserrío, teniendo los siguientes resultados:

Ilustración 29: “SENSIBILIDAD DE ACUERDO A ASIGNACIÓN ELÉCTRICA”



(Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se aprecia que la asignación por volumen genera que los consumos de subproductos sean homogéneos entre sí, detectando una diferencia máxima de un 3,4% para la corteza, similar a lo que ocurre al asignar la electricidad de acuerdo al peso, donde se detectan diferencias de hasta un 4.8%. Cabe destacar que la densidad con la cual se realiza la conversión de unidades resulta fundamental, lo que queda en evidencia al observar el aumento en la asignación energética para el caso del subproducto corteza.

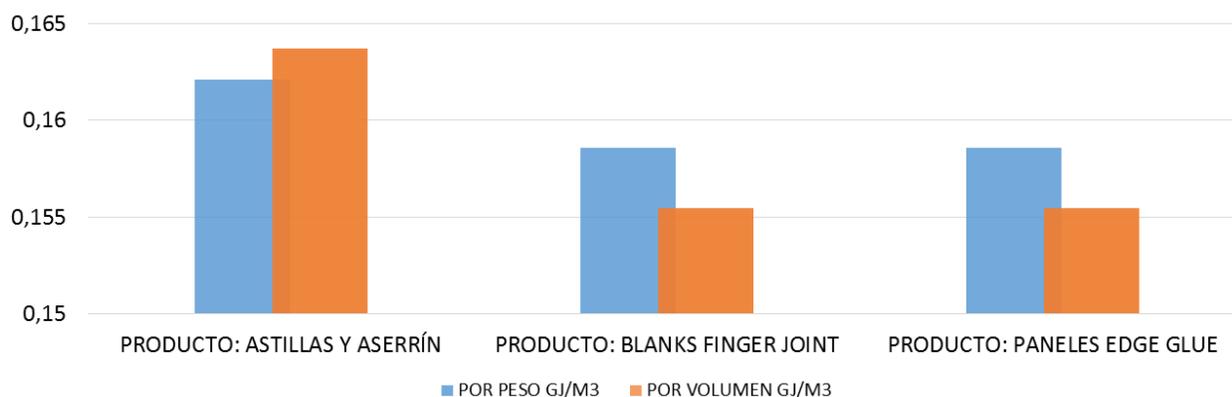
En ese sentido, la norma ISO 14.040:2006 estipula que la asignación sólo puede realizarse de 3 maneras: asignación másica, económica y energética. La asignación volumétrica se descarta, ya que cuando se trabaja con productos de baja densidad puede entregar resultados que difieren de la realidad. Esto se aprecia en el análisis de sensibilidad realizado, ya que al utilizar una distribución volumétrica se aprecia un consumo semejante entre los productos y subproductos, sin embargo, al compararlo de acuerdo a su peso se aprecia una mayor incidencia de la corteza por sobre productos de menor densidad como el aserrín.

Por otra parte, en el punto 1.1.1 se realizó un análisis para la determinación de la energía de transporte de los 200.000 m³ de materia prima. Para determinar el consumo de combustible se diferenciaron los proveedores en rangos cada 100 km, teniendo una mayor influencia (1,9 lt/m³) cuando se opta por un proveedor en un radio de entre 300 o 400 km (Gráfico N° 14). Luego la diferencia se hace menos significativa (1,7 lt/m³) cuando se decide optar por un proveedor ubicado en un radio de entre 100 y 200 km. Finalmente, la menor disimilitud se aprecia cuando se selecciona un proveedor ubicado en un radio de entre 200 y 300 km, teniendo diferencias de 1,2 lt/m³. Para el caso de la madera aserrada verde, con un consumo de 3,3 lt/m³, el transporte representa el 48,7% del total de energía. En cambio, al seleccionar un proveedor ubicado en un radio de 300 km y 400 km, el transporte representaría el 56,4% y el 68,7% respectivamente.

Luego, al analizar por ejemplo el consumo energético del Blanks Finger Joint, se tiene que el transporte tiene una preponderancia de un 15,3% del consumo total de energía. Sin embargo, al seleccionar un proveedor ubicado en un radio de 300 km y 400 km, el transporte representaría el 18,2% y el 22,4% respectivamente. De acuerdo a esto, la importancia que tendrá el transporte en el consumo total de energía dependerá de los procesos a los que la madera será sometida para su transformación, teniendo menor relevancia al momento de remanufacturar la materia prima.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando una asignación por masa en vez de volumen. Para evidenciar la sensibilidad de la asignación másica, se distribuye la energía eléctrica de acuerdo a la masa resultante de los productos: astillas y aserrín, blanks finger joint y paneles edge glue, teniendo los siguientes resultados:

Ilustración 30: Sensibilidad por peso y volumen de productos de caso de estudio



(Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico se aprecia que al asignar por masa la energía eléctrica a cada producto, se aprecia una mayor preponderancia para el caso de los productos blanks finger joint y paneles edge glue, observándose un aumento de solo un 2% en relación a la asignación volumétrica. No obstante, en el caso del producto astillas y aserrín, la asignación de electricidad resulta 1% menor al realizarse por masa en vez de volumen.

5.8 Cálculo de emisiones de CO₂

Una vez se obtienen los consumos de energía de los procesos involucrados en la producción de Foraction Chili, es posible determinar las emisiones de GEI. Éstas se obtuvieron a partir de los principios de la norma PAS 2050, utilizando los factores de emisión del IPCC del año 2006.

Cabe destacar que el proceso productivo considera la combustión de biomasa para el funcionamiento de la caldera, sin embargo, para el presente estudio estas emisiones se consideran neutras puesto que el CO₂ emitido durante la combustión ha sido absorbido previamente por la madera a través de la celulosa, lignina y hemicelulosa. Estas emisiones potenciales se mantendrán almacenadas en la materia prima hasta el momento de la combustión.

De acuerdo a lo anterior se tienen los siguientes resultados de productos y subproductos comercializados por el aserradero de estudio:

Tabla 12: "EMISIONES DE CO₂ DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS COMERCIALIZADOS POR FORACTION CHILI S.A"

SUBPRODUCTO						
	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
CORTEZA	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,249	74,1	18,45	58,36
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,137	96,1	13,17	41,64
	TOTAL				31,62	100,00
SUBPRODUCTO						
	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
ASTILLAS	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,249	74,1	18,45	60,58
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1249	96,1	12,00	39,42
	TOTAL				30,46	100
SUBPRODUCTO						
	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
ASERRÍN	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,49	74,1	36,31	74,46
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1296	96,1	12,46	25,54
	TOTAL				48,77	100
PRODUCTO						
	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
MADERA ASERRADA VERDE	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,249	74,1	18,45	59,06
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1331	96,1	12,79	40,94
	TOTAL				31,24	100

PRODUCTO						
PANELES EDGE GLUE	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,1992	74,1	14,76	43,81
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1331	96,1	12,79	37,97
	Transporte basas 50.000 m3	Diesel	0,0498	74,1	3,69	10,95
	Transporte cenizas resultantes secado	Diesel	0,00000736	74,1	0,001	0,002
	Manufactura Paneles	Electricidad	0,0254	96,1	2,45	7,26
	TOTAL				33,69	100

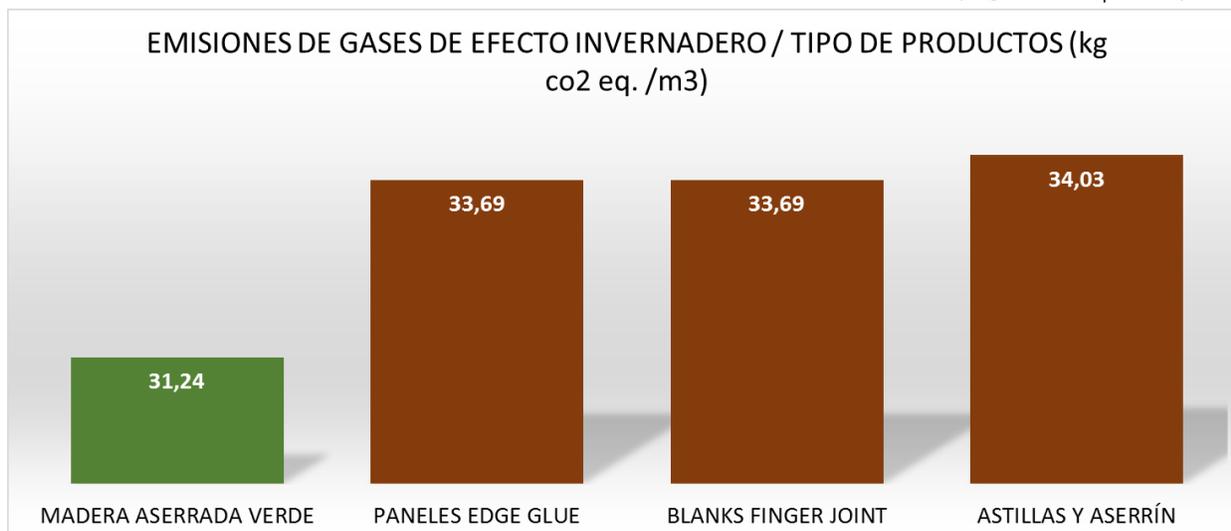
PRODUCTO						
BLANKS FINGER JOINT	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,1992	74,1	14,76	43,81
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1331	96,1	12,79	37,97
	Transporte basas 50.000 m3	Diesel	0,0498	74,1	3,69	10,95
	Transporte cenizas resultantes secado	Diesel	0,00000736	74,1	0,001	0,002
	Manufactura Blanks	Electricidad	0,0254	96,1	2,45	7,26
	TOTAL				33,69	100

PRODUCTO						
ASTILLAS Y ASERRÍN	PROCESO	COMBUSTIBLE	CANTIDAD (GJ/m3)	kg co2 eq / GJ	kg co2 eq.	%
	Transporte materia prima 200.000 m3	Diesel	0,1992	74,1	14,76	43,81
	Aserrío materia prima	Electricidad	0,1331	96,1	12,79	37,97
	Transporte basas 50.000 m3	Diesel	0,0498	74,1	3,69	10,95
	Transporte cenizas resultantes secado	Diesel	0,00000736	74,1	0,001	0,002
	Manufactura	Electricidad	0,0290	96,1	2,79	8,27
	TOTAL				34,03	100

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación se presenta un gráfico que representa la relación entre la huella de carbono total y los productos generados durante el proceso productivo.

Ilustración 31: “EMISIONES DE GEI POR PRODUCTOS (kg CO_{2eq}/m³)”



(Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar que la producción de blanks finger joint, paneles edge glue y las astillas y aserrín generan prácticamente el mismo nivel de emisiones. La madera aserrada verde genera un 7.3% menos de emisiones, lo que denota la importancia de las emisiones asociadas a la manufactura del pino radiata seco. La influencia del secado de la madera es prácticamente mínima, ya que la cantidad de cenizas generadas es muy baja. Por otra parte, la incidencia de las emisiones del transporte de la materia prima es transversal, alcanzando cerca del 50% para el caso de los productos: astillas y aserrín, blanks finger joint y paneles edge glue.

En resumen, los productos manufacturados son los que presentan un mayor nivel de emisiones, siendo un 35% superior al producto madera aserrada verde.

5.9 Validación datos de emisiones CO₂

En relación a los requisitos estipulados en la ISO 14.040:2006, la validación se realizó mediante una comparación con estudios realizados por el Consorcio para la Investigación de Materiales Industriales Renovables (CORRIM).

Teniendo en consideración que Foraction Chili no comercializa madera cepillada, no se incluyeron en la comparación la energía correspondiente al cepillado, comparándose como producto sólo la madera aserrada seca. Al igual que Foraction, ambos casos utilizan electricidad para realizar el aserrío, por lo que se decidió considerar sólo éste energético en ese proceso para realizar la comparación. Por otro lado, la energía térmica corresponde a la energía proveniente de la combustión de la biomasa.

Tabla 13: "COMPARACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO Y EMISIONES DE CO₂ EN PROCESOS DE ASERRADO"

	Estudio 1. CORRIM, noroeste EE.UU	Estudio 2. CORRIM, sudeste EE.UU	Foraction Chili
Aserrío (KWh/m3)	76,389	52,417	36,976
Factor emisión kg CO2/ kwh	0,7028	0,7028	0,346
kg CO2 eq /m3	53,68	36,83	12,79

(Fuente: Elaboración propia)

Al igual que con el análisis realizado a Foraction, las emisiones producto de la combustión de la biomasa no se contabilizan, ya que en el caso de los estudios CORRIM la incorporan en otra categoría de impacto.

El factor de emisión de la electricidad para los estudios estadounidenses se obtuvo a través de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE.UU. Al compararlo con el factor de emisión del Sistema Interconectado Central (SIC) que suministra la energía eléctrica a Foraction, se distingue que para el caso de EE.UU se genera más del doble de emisiones de CO₂ para la misma cantidad de energía. Esto último también es apreciable en Chile, ya que dependiendo del lugar donde se demande la energía eléctrica, se tendrán diferentes valores de emisiones. La energía eléctrica proveniente del Sistema Interconectado Central (SIC) está constituida en un 53,46% por centrales hidráulicas, 46,34% por centrales térmicas y 0,2% por centrales eólicas (Zaror. C, Vega. M, 2008). Sin embargo, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) está constituido en un 99% por plantas termoeléctricas, lo que genera que las emisiones de este sistema sean 2.2 veces superior a las emisiones producidas por el SIC.

Finalizado el ICV del proceso productivo del aserradero de estudio, se procede a comparar los resultados con los de un aserradero del tipo permanente de la región del Bío-bío, dando cuenta de esta manera con el Objetivo Específico 3. La información del inventario se precisó a través del ICV de la tesis doctoral “Estudio de la Energía Incorporada y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de Viviendas en Chile” (Muñoz, C. 2013).

En ese sentido, de acuerdo a los principios normativos de la ISO 14.040-2006, la comparación de diferentes ICV es posible sólo si las suposiciones y el contexto de cada uno son equivalentes, al igual que la unidad funcional y flujo de referencia. De acuerdo a esto se presenta el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 14: CUADRO COMPARATIVO INVENTARIOS DE CICLOS DE VIDA

	ASERRADERO FORACTION CHILI S.A "CASO DE ESTUDIO"	ASERRADERO DE LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO "CASO DE REFERENCIA"
UNIDAD FUNCIONAL	Volumen de madera pino radiata aserrada y manufacturada (m3)	Volumen de madera pino radiata cepillada (m3)
FLUJO DE REFERENCIA	Consumo energético (MJ/m3) asociados al consumo de energía potencial y térmica	Consumo energético (MJ/m3) asociados al consumo de energía potencial y térmica
OBJETIVO	Determinación de la energía contenida de la madera de Pino Radiata durante proceso de aserrío para la obtención de: madera aserrada verde, astillas y aserrín, finger joint blanks y paneles sin nudos.	Determinación de la energía contenida del Pino Radiata, en proceso de aserrío, para la elaboración del producto madera aserrada seca
ALCANCE	Aserradero de la Región del Biobío, Comuna de Curanilahue, Provincia de Arauco. Del tipo permanente tradicional, con una capacidad de aserrío de 200.000 m3 de madera al año	Aserradero de la Región del Biobío. Aserradero permanente tradicional con una producción de 260.824 m3 de madera al año
LÍMITES DEL SISTEMA	Se consideran entradas desde la extracción de materias primas hasta la salida del producto del aserradero (ICV de la cuna a la puerta)	Se consideraron entradas desde la extracción de materias primas hasta la salida de los productos de la fábrica (ICV de la cuna a la puerta)
CATEGORÍA DE IMPACTO	Energía incorporada (GJ/m3) y potencial de calentamiento global (kg CO2/m3)	Energía incorporada (MJ/m3) y potencial de calentamiento global (kg CO2/m3)

(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a lo anterior, ambos inventarios presentan la misma unidad funcional y similar flujo de referencia, además coinciden en cuanto a sus límites y categorías de impacto, por lo que no habría impedimentos en realizar una comparación.

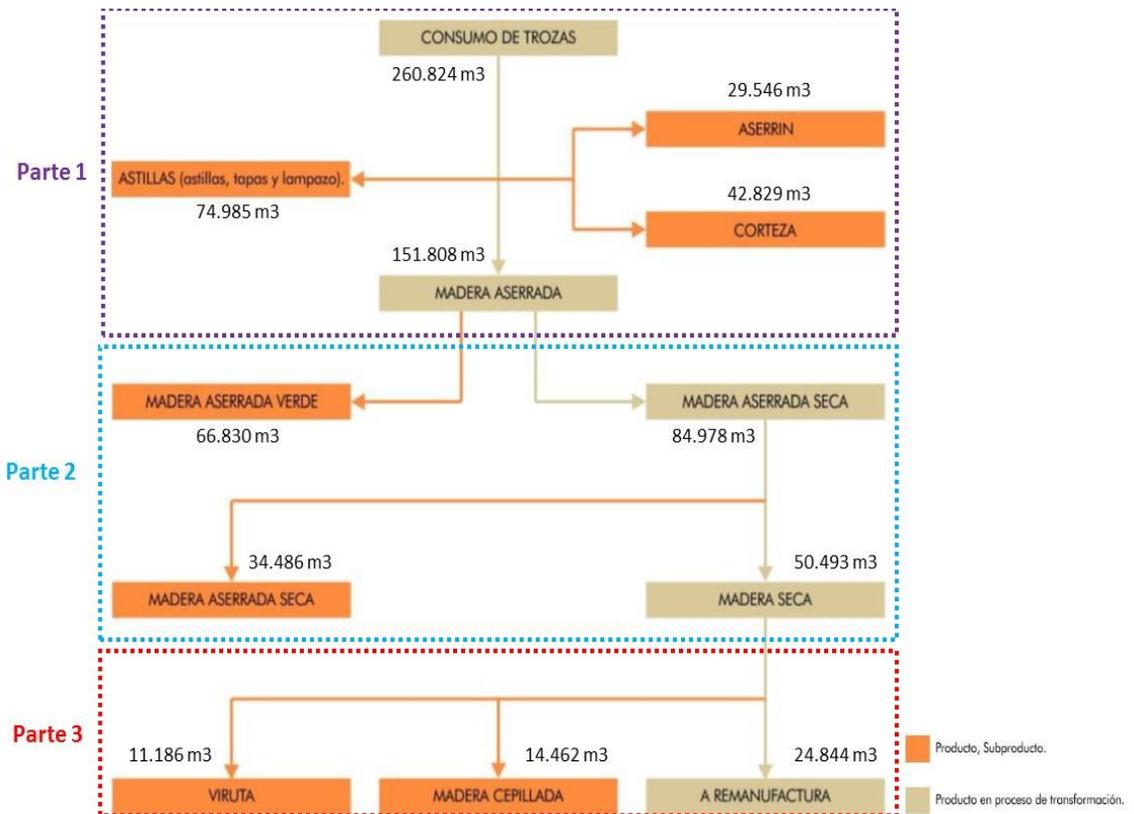
Con respecto a la calidad de los datos, ambos inventarios utilizan fuentes de origen primario, obtenidos en el Caso de Estudio mediante la DIA de Foraction Chili, mientras que el Caso de Referencia los datos se obtuvieron directamente del aserradero.

Previo a la comparación se describe el proceso productivo del Caso de Referencia.

6. RESULTADOS “CASO DE REFERENCIA”

Dado la cantidad de información disponible, se dificulta la visualización simplificada de cada proceso, por ende el ICV separa los procesos productivos en 4 partes, teniendo lo siguiente:

Ilustración 32: PROCESO PRODUCTIVO ASERRADERO CASO DE REFERENCIA



(Fuente: Muñoz, C. 2012)

- **Parte 1 - Aserrío materia prima:** El proceso productivo para el aserradero del Caso de Referencia comienza con la recepción de 260.824 m³/año de madera pino radiata, los cuales son aserrados produciendo:
 - **Producto:** Madera aserrada - 151.808 m³/año
 - **Subproducto:** Astillas - 74,985 m³/año
 - **Subproducto:** Aserrín - 29,546 m³/año
 - **Subproducto:** Corteza - 42.829 m³/año

- **Parte 2 - Secado madera aserrada:** Luego, de los 151.808 m³/año provenientes del aserrado de la materia prima, el 44% (66.830 m³/año) es comercializado como madera aserrada verde, mientras que el 56% (84.978 m³/año) es enviada a las cámaras de secado con el objeto de obtener madera aserrada seca. Posteriormente, el 40,6% (34.486 m³/año) de la madera aserrada seca es comercializada, mientras que el 59,4% (50.493 m³/año) es cepillada o enviada a remanufactura.
- **Parte 3 - Cepillado y remanufactura de madera seca:** Finalmente, los 50.493 m³ provenientes de la parte 3 son clasificados con el objeto de obtener 14.462 m³ de madera seca cepillada, 11.186 m³ de viruta de madera seca y 24.844 m³ de madera cepillada seca dispuesta para remanufactura.

6.1 CONSUMO DE ENERGÍA

- **Consumo eléctrico:** La energía eléctrica utilizada por el aserradero es suministrada por el Sistema Interconectado Central (SIC), y es empleada en los procesos de aserrío, cepillado y remanufactura de la materia prima. Para su cuantificación, el ICV determinó la energía eléctrica de cada equipo de acuerdo a la potencia nominal de cada equipo, las horas de uso de este y el consumo eléctrico total del aserradero, de acuerdo a la siguiente expresión:
 - **Energía eléctrica por equipo (KWh) = % energía genérica equipo * consumo eléctrico aserradero (KWh)**

La demanda energética es calculada como si toda la maquinaria estuviera trabajando en su máxima capacidad, alejándose de la realidad pero entregando un valor de referencia.

Luego, la asignación energética se realizó de acuerdo al volumen de producción considerando el consumo energético en tres etapas:

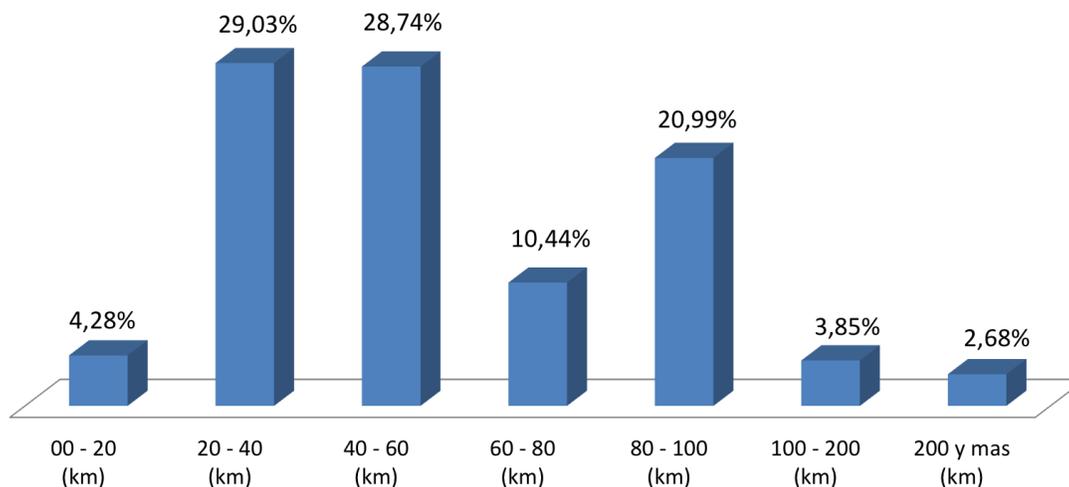
- **Etapas:**
 - **Etapas 1:** Comprende desde el ingreso de la troza a la cancha de trozos, hasta la salida del aserradero (obtención de madera aserrada).
 - **Etapas 2:** Comprende desde las cámaras de secado, incluyendo la caldera, hasta la mesa de clasificado y en Trimmer/pallet (obtención de madera aserrada seca).
 - **Etapas 3:** Consumo eléctrico desde la entrada a la cepilladora Newman hasta terminar en el taller de mantención (obtención de madera cepillada y viruta)

Posteriormente la energía contenida de los materiales en proceso se suma a la energía que se va incorporando.

- **Consumo de diésel:** Teniendo en cuenta la disponibilidad de información, el consumo de diésel se agrupó en diésel para transporte externo y diésel para transporte interno.
 - **Transporte externo:** El transporte externo comprende la distancia desde el bosque a la planta de aserrado. En este caso el consumo de diésel se obtuvo de acuerdo a datos históricos obtenidos en la planta de producción, considerando camiones con carro de 28 m³ de capacidad y un rendimiento de 2,0 km/lt en carretera y 1,7 km/lt en ripio.

El cálculo del consumo de diésel se realizó considerando el volumen de trozas transportadas y la distancia promedio recorrida desde el proveedor hasta el aserradero. Para acotar el análisis, el ICV estudió solo los proveedores que aporten como mínimo un 0,5% del ingreso anual, siendo 48 de un total de 192 proveedores los que aportan un total de 83,4% del ingreso total anual del aserradero. De acuerdo a esto se tiene el siguiente gráfico:

Ilustración 33: DISTRIBUCIÓN TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA POR RANGOS DE KILÓMETROS "CASO DE REFERENCIA"



Se realiza una separación por rangos de kilometraje, ya que se aprecia una influencia en relación al consumo/producción. Luego, se asigna un consumo de combustible por metro cúbico de material y se multiplica el porcentaje de aporte en cada rango de kilometraje por la relación consumo producción para dicho rango, obteniendo un consumo de combustible de 2,8152 lt/m³).

- **Transporte interno:** La planta cuenta con un sistema de control de petróleo por cada maquinaria, por lo que puede conocerse directamente su consumo. Sin embargo, dado que el consumo de combustible interno no está asociado directamente al volumen de movimiento ni a las distancias, su asignación energética se realiza directamente de acuerdo a los volúmenes de producción.
- **Consumo caldera:** Para el consumo de diésel en el caso de la caldera, la asignación energética se realizó al finalizar el proceso de secado, incluyéndose a la madera aserrada seca y distribuyendo de acuerdo a los volúmenes de producción de cada producto.
- **Consumo de biomasa:** La energía proporcionada por la biomasa con el objeto de secar la madera aserrada se calculó de acuerdo al Poder Calorífico Inferior (PCI) de la biomasa, de acuerdo a la siguiente expresión (Van Loo, Sjaak et al 2008., Sterling, 2008):

$$PCI = PCS \left(\frac{1 - w'}{100} \right) - 2,444 \cdot \frac{w}{100} - 2,44 \cdot \frac{h}{100} \cdot 8,936 \left(\frac{1 - w'}{100} \right)$$

Donde:

PCI: Poder Calorífico Inferior en MJ/Kg de combustible (base húmeda)

PCC: Poder Calorífico Superior en MJ/Kg de combustible (base seca)

2,444: diferencia entalpia entre el vapor y agua en estado líquido a 25°C, en MJ/Kg

W' : contenido de agua del combustible en porcentaje del peso (base húmeda)

8,936: M_{H_2O} / M_{H_2} es la relación de masa molecular entre el H₂O y el H₂, sin unidad

h: concentración de hidrógeno en porcentaje del peso (base seca). Generalmente 6% para madera.

A continuación, se muestra un ejemplo del cálculo de PCI, para la producción de un mes (julio, 2010). :

$$PCI = 20,04(\text{MJ/kg}) * [1 - (43,57/100)] - 2,444(\text{MJ/kg}) * (43,57/100) - 2,444(\text{MJ/kg}) * (6/100) * 8,936 * [1 - (43,57/100)]$$

$$PCI = 9,50 \text{ (MJ/Kg)}$$

Como principio de asignación, el consumo de diésel fue considerado en el flujo de producción justo después de la salida del producto de la cámara de secado (madera aserrada seca), el que se fue distribuyendo de acuerdo a los volúmenes de producto terminado.

Resumiendo, a continuación se presenta el detalle de la energía contenida por producto y subproducto para 1 m3.

Tabla 15: RESUMEN ENERGÍA CONTENIDA POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"

SUBPRODUCTO: ASTILLAS	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	211096	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	57,39
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	101948	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	27,84
CONSUMO ELÉCTRICO	548054	KWh	-	3,6 MJ/KWh	26	14,77
TOTAL					176	100

SUBPRODUCTO: ASERRÍN	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	83177	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	57,39
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	40170	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	27,84
CONSUMO ELÉCTRICO	215946	KWh	-	3,6 MJ/KWh	26	14,77
TOTAL					176	100

SUBPRODUCTO: CORTEZA	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	120571	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	57,39
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	58229	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	27,84
CONSUMO ELÉCTRICO	313031	KWh	-	3,6 MJ/KWh	26	14,77
TOTAL					176	100

PRODUCTO: MADERA ASERRADA VERDE	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	427369	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	33,89
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	206396	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	16,44
CONSUMO ELÉCTRICO	1109546	KWh	-	3,6 MJ/KWh	26	49,67
TOTAL					176	100

PRODUCTO: MADERA ASERRADA SECA	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	239229	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	2,39
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	115535	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	1,16
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	56454	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	24	0,57
CONSUMO ELÉCTRICO	7294810	KWh	-	3,6 MJ/KWh	310	7,34
CONSUMO BIOMASA	318	TJ	-	-	3743	89
ENERGÍA TOTAL					4228	100

PRODUCTO: MADERA CEPILLADA	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	142146	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	2,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	68649	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	1,10
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	33544	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	24	0,54
CONSUMO ELÉCTRICO	7377720	KWh	-	3,6 MJ/KWh	526	11,84
CONSUMO BIOMASA	189	TJ	-	-	3743	84
ENERGÍA TOTAL					4443	100

SUBPRODUCTO: VIRUTA	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	31491	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	2,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	15209	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	1,10
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	7431	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	24	0,54
CONSUMO ELÉCTRICO	1634428	KWh	-	3,6 MJ/KWh	526	11,84
CONSUMO BIOMASA	42	TJ	-	-	3743	84
ENERGÍA TOTAL					4443	100

SUBPRODUCTO: MADERA CEPILLADA A REMANUFACTURA	CANTIDAD	UNIDAD	DENSIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (MJ/M3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	69940	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	101	2,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	33777	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	49	1,10
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	16505	LT	0,84 kg/lt	42,5 MJ/kg	24	0,54
CONSUMO ELÉCTRICO	3630049	KWh	-	3,6 MJ/KWh	526	11,84
CONSUMO BIOMASA	93	TJ	-	-	3743	84
ENERGÍA TOTAL					4443	100

(Fuente: Elaboración propia)

6.2 CÁLCULO HUELLA DE CARBONO

El caso de referencia precisó las emisiones de CO₂ a partir de los principios normativos de la norma PAS 2050. Por otra parte, los factores de emisión de los combustibles fósiles fueron extraídos del IPCC del año 2006. Además, las emisiones producto de la combustión de biomasa no se consideran como parte de la huella de carbono, ya que los productos forestales almacenan carbono en sus moléculas.

Por consiguiente, a continuación se presenta el detalle de las emisiones por producto y subproducto para 1 m³.

Tabla 16: RESUMEN EMISIONES DE CO₂ eq POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"

SUBPRODUCTO: ASTILLAS	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	51,58
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	25,02
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	26	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	3,39	23,39
TOTAL EMISIONES				14,51	100

SUBPRODUCTO: ASERRÍN	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	51,58
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	25,02
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	26	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	3,39	23,39
TOTAL EMISIONES				14,51	100

SUBPRODUCTO: CORTEZA	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	51,58
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	25,02
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	26	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	3,39	23,39
TOTAL EMISIONES				14,51	100



PRODUCTO: MADERA ASERRADA VERDE	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	51,58
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	25,02
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	26	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	3,39	23,39
TOTAL EMISIONES				14,51	100

PRODUCTO: MADERA ASERRADA SECA	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	14,14
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	6,86
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	24	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	1,78	3,36
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	310	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	40,05	75,65
CONSUMO BIOMASA	2954	MJ/m3	-	0	0
TOTAL EMISIONES				52,94	100

PRODUCTO: MADERA CEPILLADA	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	9,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	4,50
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	24	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	1,78	2,20
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	526	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	67,85	84,03
CONSUMO BIOMASA	2954	MJ/m3	-	0	0
TOTAL EMISIONES				80,75	100

SUBPRODUCTO: VIRUTA	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	9,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	4,50
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	24	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	1,78	2,20
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	526	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	67,85	84,03
CONSUMO BIOMASA	2954	MJ/m3	-	0	0
TOTAL EMISIONES				80,75	100

PRODUCTO: MADERA CEPILLADA A REMANUFACTURA	CANTIDAD	UNIDAD	FACTOR CONVERSIÓN	TOTAL (Kg CO2e/m3)	%
CONSUMO DIESEL (EXTERNO)	101	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	7,48	9,27
CONSUMO DIESEL (INTERNO)	49	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	3,63	4,50
CONSUMO DIESEL (CALDERA)	24	MJ/m3	0,0741 kg co2/MJ	1,78	2,20
CONSUMO ELÉCTRICO (SIC)	526	MJ/m3	0,129 kg co2/MJ	67,85	84,03
CONSUMO BIOMASA	2954	MJ/m3	-	0	0
TOTAL EMISIONES				80,75	100

(Fuente: Elaboración propia)

7. COMPARACIÓN “CASO DE ESTUDIO” Y “CASO DE REFERENCIA”

Para dar cumplimiento al Objetivo Específico 3, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos por los ICV de Foraction Chili y un aserradero de la región del Biobío, detallado en la tesis doctoral “Estudio de la Energía Incorporada y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de Viviendas en Chile” (Muñoz, C. 2013). El nombre del aserradero se mantiene en reserva motivo del acuerdo de confidencialidad entre la empresa y la autora.

Se comparan consumos de energía y emisiones de productos y subproductos de acuerdo a los procesos productivos de ambos aserraderos: Aserrío, secado y remanufactura de materia prima. De lo anterior se tiene lo siguiente:

7.1 PROCESO DE ASERRÍO

7.1.1 Consumo de diésel y transporte de materia prima

El transporte de materia prima se traduce en un consumo de diésel, el cual estará determinado por el volumen de materia prima a transportar y la distancia recorrida por el camión distribuidor.

Ambos ICV establecen diferentes metodologías para la cuantificación del consumo de diésel de acuerdo a la información disponible para cada caso. El Caso de Estudio es el que presenta una mayor cantidad de consideraciones, ya que no cuenta con información precisa que permita determinar un proveedor en particular. Utilizando la base de datos del INFOR del año 2013, se determina la distancia media entre el Caso de Estudio y los posibles proveedores de materia prima que den a basto a las necesidades del aserradero. Ahora bien, al clasificar los proveedores en aserraderos grandes y medianos de acuerdo a la Tabla N°1, se aprecia la predominancia de los aserraderos del tipo grande en un radio de 400 km. Así también, el 40% de los aserraderos susceptibles de abastecer de materia prima al Caso de Estudio se encuentra en un radio de 200 km, de los cuales el 80% corresponden a aserraderos grandes. En general puede apreciarse que los aserraderos grandes se encuentran más próximos al Caso de Estudio, siendo más probable que éstos sean los que suministran la materia prima a Foraction Chili teniendo en cuenta su volumen de producción.

Por otro lado, al finalizar el proceso de aserrío, el Caso de Estudio contempla la compra de 50.000 m³ a pequeños y medianos aserraderos de la zona, con un volumen de producción menor a 100.000 m³/año. Sin embargo, debido a la gran cantidad de aserraderos de esas características, se optó por determinar una distancia promedio entre Foraction y las principales ciudades cercanas a Curanilahue. Se optó por esta metodología teniendo en cuenta que se necesitan diariamente 208 m³ de madera, por lo que se otorga preferencia a proveedores en las cercanías de Curanilahue. De los datos obtenidos se tiene una distancia promedio de 67 km entre el Caso de Estudio y el proveedor de materia prima que suministre los 208 m³ diarios. Considerando un rendimiento de 2 km/lt (Muñoz, C. 2012) se tiene un consumo de diésel de 1.9 lt/m³.



No obstante, al analizar el Caso de Referencia se observa que el 93.5% del total de materia prima proviene de un radio de 100 km (Ilustración N° 32) de la cual el 57.8% (150.756 m³) procede de un radio entre 20-60 km. A diferencia del Caso de Estudio, la materia prima es adquirida en las cercanías del aserradero por más de un proveedor, lo que generaría un menor consumo de diésel por m³ transportado. De acuerdo a esto, se aprecia un aumento constante en el consumo de diésel/ m³ en promedio de un 22% a medida que la distancia aumenta 20 km. En cambio, para intervalos cada 100 km se registra un aumento en promedio de un 71%.

Por último, comparando el consumo específico de diésel en ambos casos se tiene que la mayor diferencia entre ambos casos se aprecia para un radio entre 0-100 km, debiendo el Caso de Referencia consumir en promedio un 28% menos de diésel para transportar 1 m³ de materia prima hacia el aserradero. Esta diferencia se va aumentando a medida que se aumenta el rango de estudio, debiendo el caso de referencia consumir un 35% menos de diésel promedio al aumentar en 100 km la distancia del proveedor a cada aserradero (Anexo B1).

Cabe señalar que para el análisis de los lt/m³ por rangos de kilómetros no se incluyó el consumo de diésel destinado al transporte de los 50.000 m³ del Caso de Estudio, ya que éste no asigna el combustible por rangos de kilómetros, sino por la distancia media entre el Caso de Estudio y las principales ciudades aledañas a Curanilahue.

El consumo específico de diésel de la materia prima transportada al inicio del proceso de aserrío resulta superior para el Caso de Estudio en un 110%%, contrario a lo observado en rangos de 0-100 km, 100-200 km y mayor de 200 km. Sin embargo, cabe destacar que al finalizar el proceso de aserrío el Caso de Estudio compra 50.000 m³ de materia prima, aumentando el consumo de diésel total.

En otro orden de cosas, el Caso de Referencia contempla una metodología de asignación diferente, basada en la asignación energética de acuerdo a su contribución porcentual conforme a rangos de kilómetros. En ese sentido, el Caso de Estudio establece la distancia promedio recorrida por el camión distribuidor de una manera más general, considerando solo la disposición de los proveedores de materia prima. En consecuencia, debido al requisito de confidencialidad establecido para el desarrollo del ICV del Caso de Referencia, no es posible poder evaluar la precisión de ambas metodologías, ya que no se conoce la ubicación exacta del aserradero del Caso de Referencia ni los proveedores utilizados para abastecerse. Además, cabe destacar que el Caso de Referencia considera un consumo de diésel destinado al transporte de su materia prima y un consumo de diésel para el funcionamiento de maquinaria al interior del aserradero, distinguiéndose en ese sentido del Caso de Estudio.

Luego, al incluir el consumo de diésel destinado para el consumo interno de maquinaria del Caso de Referencia se tiene que este último demanda un 40% menos que el Caso de Estudio, ya que incluye un total de 406.072 litros de diésel por año destinados para el consumo interno de maquinaria, representando el 33.3% del total de diésel consumido por el Caso de Referencia (Anexo B2). Ahora bien, resulta complejo extrapolar este consumo al Caso de Estudio, ya que

las maquinarias utilizadas por el Caso de Referencia responden a las necesidades propias de ese aserradero, necesidades que pudiesen diferir a las de Foraction Chili.

7.1.2 Consumo eléctrico.

Ambos casos utilizan electricidad para el aserrado de su materia prima. Sin embargo, el consumo eléctrico obedecerá a la metodología utilizada para su determinación.

Para el Caso de Estudio la DIA no especifica el consumo eléctrico para la etapa de aserrado, ni los tiempos de uso de la maquinaria involucrada. No obstante, ésta se estimó de acuerdo a una comparación con 3 proyectos de aserraderos presentes en el SEIA que comercializan productos semejantes y que tienen un similar nivel de producción.

Los proyectos utilizados para estimar el consumo eléctrico se obtuvieron a través del SEA, organismo público chileno que administra el SEIA. El SEIA en su página web tiene alojado proyectos de aserraderos susceptibles de ser evaluados mediante una Declaración de Impacto Ambiental, lo que permitirá acceder a la información necesaria para el análisis. De acuerdo a lo anterior, los proyectos presentan las siguientes características:

Tabla 17: PRODUCCIÓN (M3) Y CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL (KWh)
PROYECTOS DEL SEIA ESTUDIADOS

	PRODUCCIÓN (m3/año)	CONSUMO ENERGÍA (KWh/año)
Aserradero Horcones II. Arauco S.A	225.000	10.099.200
Aserradero Cementos Biobío S.A	168.000	6.389.760
Aserradero Andinos S.A	110.000	4.565.760

(Fuente: Elaboración propia)

Ahora bien, con el objeto de extrapolar el consumo energético de Foraction Chili para una producción de 94.340 m3/año, se graficó la electricidad y la producción de los aserraderos anteriormente descritos.

De la Ilustración N°18 se aprecia una curva exponencial conforme aumenta la producción del aserradero. Para estimar el consumo energético de Foraction Chili se empleó una línea de tendencia que permita extrapolar el consumo energético para un valor de producción de 94.340 m3/año, obteniendo un consumo energético estimado de 3.488.316 KWh/año.

De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta a lo estipulado en la ISO 14.040:2006, se realizó una asignación por masa de los subproductos resultantes del proceso de aserrío considerando las siguientes densidades:

- **Densidad corteza:** 463 kg/m3 (Poblete. H, 1991)
- **Densidad aserrín:** 437,5 kg/m3 (Fernandoy, M. 2007)

- **Densidad astillas:** 421,9 kg/m³ (Cea, H. 2003)

Al realizar una asignación de acuerdo a la masa de cada subproducto, se tiene que las operaciones para descortezar la materia prima consumen el 17.46% del total de energía eléctrica. De la misma manera, el dimensionamiento consume el 82.54% (2.879.256 KWh), produciendo astillas y aserrín (Anexo B3)

Por otra parte, al analizar el consumo energético en relación a los m³ de cada producto y subproducto se tiene que la corteza es al que se asigna la mayor cantidad de energía, seguido por el aserrín y las astillas, lo que no es ajeno a la realidad teniendo en cuenta sus densidades (Anexo B4). Por otra parte, para el caso de la madera aserrada verde se le asignó la totalidad de energía del proceso de aserrío (3.488.316 KWh/año), ya que se necesita la totalidad de ésta para la producción de madera aserrada verde. En otras palabras, no es posible obtener madera aserrada verde sin descortezar ni dimensionar la materia prima, por ende no se incluye dentro de la asignación por masa. Esto es de suma importancia, ya que la asignación distribuye el total de electricidad de acuerdo al volumen de producción, por lo que al desagregar la madera aserrada verde significa una carga energética de en promedio 50% menos para los subproductos y producto.

Por otra parte, el Caso de Referencia realiza el cálculo de energía eléctrica basándose en la potencia nominal de cada equipo, horas de uso y su contribución al consumo eléctrico total del aserradero. Este método estima la demanda energética como si toda la maquinaria estuviera trabajando en su máxima capacidad, lo que es ajeno a la realidad pero permite tener un valor de referencia. De acuerdo al Anexo B11, el aserradero presenta un consumo de 7.377.720 kwh/año, siendo los procesos de aserrado y secado los que demandan la mayor cantidad de energía eléctrica.

El proceso de aserrado consume 2.186.578 kwh/año (29.6%), incluyendo el manejo de trozas, descortezado y clasificación, línea de aserrado grueso, línea de aserrado delgado, baño anti manchas y taller de afilado. En ese sentido, las líneas de aserrado grueso y delgado implican el 84.6% del consumo total del proceso, seguido por la energía eléctrica necesaria para el manejo de trozas (9%) y el descortezado y clasificación de materia prima (5.3%).

Para el Caso de Referencia, la asignación energética de electricidad del aserrío se realizó considerando los volúmenes de producción de la corteza, aserrín, astillas y madera aserrada verde, diferenciándose en esto último del Caso de Estudio. De acuerdo al volumen de producción, la madera aserrada verde consume el 50.7% del total de electricidad del aserrado, mientras que las astillas el 25%, la corteza el 14,3% y por último el aserrín con el 9.9% del total de electricidad (Anexo B12).

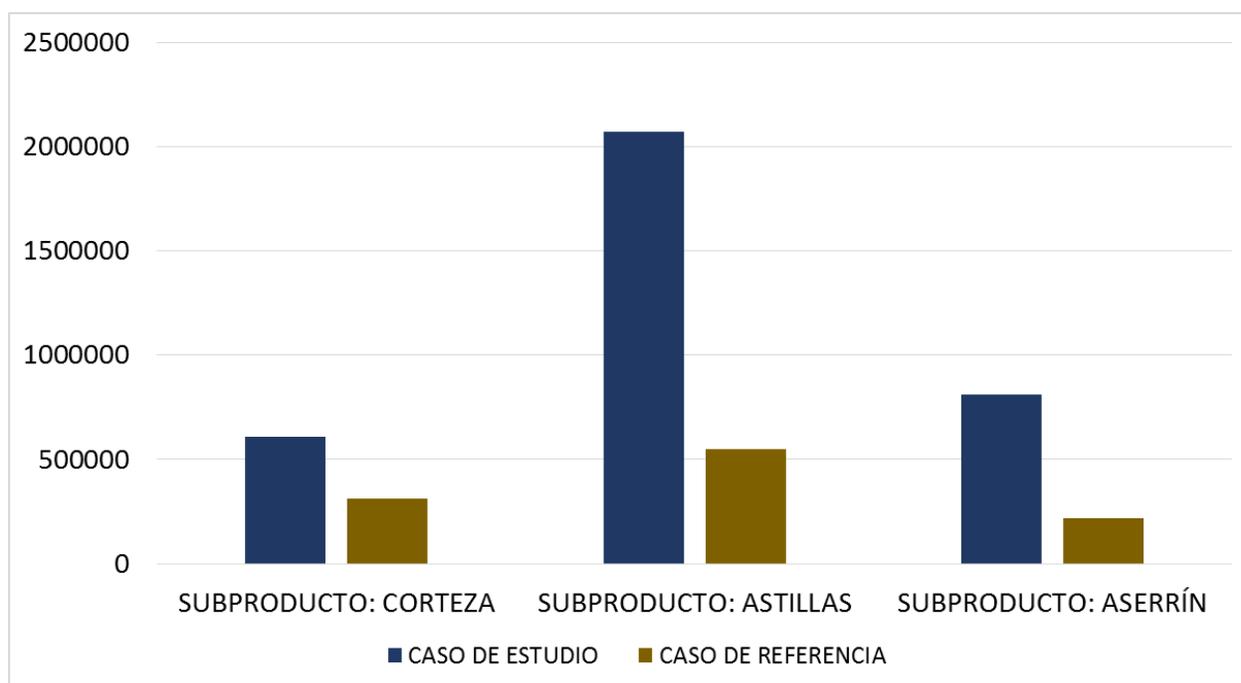
Sin embargo, al analizar el consumo específico de combustible del Caso de Referencia, se tiene un consumo de 7,3 KWh/m³ tanto para la madera aserrada verde como los subproductos (Anexo B13). A diferencia con el Caso de Estudio, el Caso de Referencia asigna el total de energía eléctrica tanto para los subproductos como para el producto madera aserrada verde,

resultante un consumo específico casi idéntico entre ellos. Además, esto genera que la asignación energética sea menor, ya que distribuye el total de la energía entre un mayor volumen.

Ahora bien, comparando los resultados obtenidos de acuerdo a ambas metodologías de asignación se tiene que el consumo eléctrico anual para el Caso de Estudio resulta un 60% superior al Caso de Referencia, a pesar de que el Caso de Referencia presenta un factor de producción menor al de Foraction Chili (Anexo N°B5). En ese sentido, la mayor producción del Caso de Referencia supondría un mayor consumo eléctrico para el aserrado de más materia prima, lo que no se contrasta a lo estimado con los demás aserraderos estudiados.

Por otra parte, al comparar el consumo eléctrico específico se tiene:

Ilustración 34: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO DE SUBPRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO

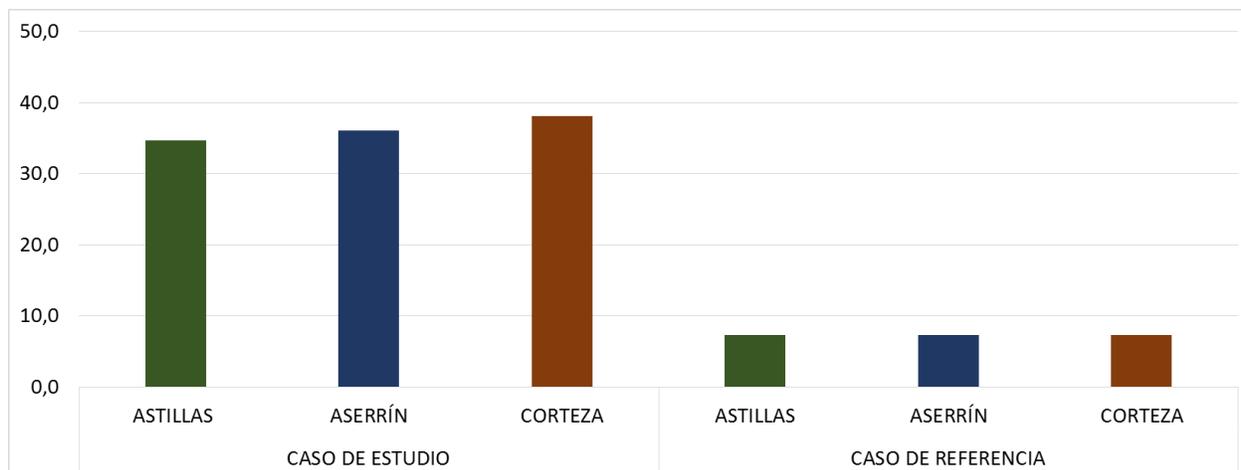


(Fuente: Elaboración propia)

En líneas generales el consumo eléctrico del proceso de aserrío resulta superior para el Caso de Estudio. Para la corteza resulta un 1.95 veces superior el consumo eléctrico del Caso de Estudio, mientras que para las astillas y el aserrín es superior en casi 3 veces. Esto guarda relación con el tipo de asignación utilizada para ambos casos, reportando un menor consumo eléctrico específico en el Caso de Referencia al considerar el producto madera aserrada verde dentro de la asignación volumétrica.

Luego, para el análisis del consumo eléctrico específico se tiene:

Ilustración 35: CONSUMO ESPECÍFICO DE ELECTRICIDAD (KWh/m³)
 PROCESO DE ASERRADO DE SUBPRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

El consumo eléctrico específico para los subproductos de la etapa de aserrío resulta similar para ambos casos, registrando un consumo promedio de 36.3 kwh/m³ para el Caso de Estudio, y un consumo promedio de 7.3 kwh/m³ para el Caso de Referencia. Al compararlo con el consumo anual, el consumo específico del Caso de Estudio resulta 4,8 veces superior, mucho más a lo observado en el consumo anual por producto.

7.2 PROCESO DE SECADO

7.2.1 Consumo de biomasa

Ambos casos utilizan parte de sus subproductos como biomasa combustible para el funcionamiento de la caldera.

Además, para el cálculo del consumo energético de la biomasa, los dos determinan la energía disponible mediante la expresión:

$$PCI = PCS (1 - w'/100) - 2,444 (w'/100) - 2,444 [(h/100) * 8,936 (1 - w'/100)]$$

(Van Loo, Sjaak et all, 2008):

El Caso de Estudio consume un volumen anual de 15.000 m³ de ceniza, la cual es secada por radiación previa a su combustión. Como la DIA de Foraction no precisa el contenido de humedad del aserrín previo a su utilización, se estima que éste es secado hasta un 15%, entregando a la caldera 15,588 MJ/Kg de aserrín. Por ende, considerando una densidad de



aserrín de 437,5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007), al finalizar el proceso de secado se consumirá un total de 102.296.250 MJ/año.

Por otra parte, el Caso de Referencia utiliza una mezcla de aserrín, viruta y astillas para el funcionamiento de la caldera, en las siguientes proporciones:

- Viruta: 54,55% (34.316 m³/año)
- Astillas: 14,42% (2.398 m³/año)
- Aserrín: 31,02% (11.097 m³/año)

El Caso de Referencia utiliza más de 3 veces de energía con el objeto de secar 84.978 m³/año de pino radiata (Anexo B6). En ese sentido, cabe destacar la mayor eficiencia de la caldera utilizada en el Caso de Estudio, ya que con solo 15.000 m³/año es capaz de secar 116.038 m³ de madera aserrada verde de pino radiata. En ese sentido, el Caso de Estudio necesita 0.129 m³ de biomasa para secar 1 m³ de madera aserrada verde, mientras que el Caso de Referencia necesita 0.563 m³ de mezcla de biomasa.

Por otra parte, la determinación del Poder Calorífico Inferior (PCI) permite determinar la energía efectivamente disponible, la que estará supeditada respecto al contenido de humedad de la biomasa previo a su combustión. Para el Caso de Estudio se establece el supuesto de que el aserrín es secado previamente por radiación hasta alcanzar una humedad del 15%. Sin embargo, para el Caso de Referencia se establece un contenido de humedad de la mezcla de biomasa de 43.57%. De acuerdo al PCI de cada caso (Anexo B7), la biomasa del Caso de Estudio resulta 64% más eficiente que la mezcla de biomasa del Caso de Referencia, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento energético por kg.

Por otro lado, teniendo en cuenta que el PCI entrega sus resultados en términos de masa, es necesario emplear la densidad de la biomasa con el objeto de determinar el consumo energético anual del proceso de secado. El Caso de Estudio utiliza solo aserrín como combustible biomásico al que se le asocia una densidad de 437,5 kg/m³ (Fernandoy, M. 2007), lo que entrega un consumo energético anual de 102.296.250 MJ. En cambio, el Caso de Referencia utiliza una mezcla de aserrín, astillas y viruta de madera, al que se le asocia una densidad general de Pino Radiata de 700 kg/m³. Esto último genera que la determinación del consumo energético no sea precisa, ya que considera los 3 productos biomásicos como si fuera uno solo, lo que es ajeno a la realidad. Una alternativa sería ponderar la densidad de cada tipo de biomasa de acuerdo a su grado de contribución en la mezcla total, entregando una densidad promedio que permita aproximar de mejor manera la energía consumida. No obstante, el Caso de Referencia presenta un consumo energético de 318.091.221 MJ.

El Caso de Referencia produce 3 veces más energía que el Caso de Estudio, teniendo un mayor contenido de humedad y utilizando un mayor volumen de biomasa para su funcionamiento. En ese sentido, cabe destacar la influencia del contenido de humedad de la biomasa en la energía disponible para el secado de la madera. Por ejemplo, si el Caso de Referencia secara su biomasa previa a su utilización al igual que Foraction Chili necesitaría solo

29.216 m³ en vez de 47.812 m³ para producir la misma energía. Por otra parte, si Foraction decidiera no secar su biomasa antes de utilizarla, debería consumir un 64% más de aserrín con el objeto de producir la misma energía de secado.

En suma, de acuerdo al Anexo B8, el Caso de Referencia muestra un consumo específico casi 4 veces superior al de Foraction Chili, a pesar de que seca un volumen 31.060 m³ menor al de éste último. Esto genera que la energía total sea distribuida en una menor cantidad de m³, aumentando el consumo específico de biomasa para el Caso de Referencia. Por otra parte, el total de energía anual del Caso de Referencia fue determinado respecto a una densidad media de 700 kg/m³ de pino radiata, muy superior a la densidad del aserrín (437.5 kg/m³) utilizada para el Caso de Estudio. Esto ocasiona que aumente el consumo energético anual, ya que el Caso de Referencia supone la combustión de una mayor cantidad de kg de madera por m³ de biomasa.

7.2.2 Consumo de electricidad

El Caso de Estudio no precisa el consumo eléctrico utilizado durante el proceso de secado, por lo que no fue posible compararlo con el Caso de Referencia. Sin embargo, éste último si entrega los KWh utilizados referentes a la caldera, cámaras de secado y mesas de clasificación, representados en el Anexo B11.

El proceso de secado consume el 69.2% del total de energía eléctrica, del cual el 93.5% corresponde a las cámaras de secado Mihild/Neumann. Cabe destacar el alto consumo energético del proceso de secado para el Caso de Referencia, tanto por la utilización de biomasa como en el consumo eléctrico. Hubiese sido provechoso compararlo con Foraction Chili, pero lamentablemente este último no entrega información que permita realizar un análisis del consumo eléctrico en profundidad.

7.2.3 Consumo de diésel

Ambos casos utilizan diésel durante el proceso de secado, sin embargo, el Caso de Estudio utiliza el diésel con el objeto de transportar los residuos de cenizas provenientes de la cámara de combustión, mientras que el Caso de Referencia lo utiliza para el funcionamiento de la caldera.

El Caso de Estudio consume un total de 20.6 litros destinados a transportar los 49.65 ton/año de cenizas hacia el vertedero autorizado ubicado en Curanilahue. En ese sentido, los 20.6 litros de diésel se asignan a los 107.335 m³ de madera seca resultante del proceso de secado, teniendo como consecuencia un consumo de 1.92 e-4 lt/m³. Considerando una densidad del diésel de 0.840 kg/lt y un poder calorífico de 10.900 kcal/lt, se tiene un consumo específico de diésel de 0.00736 MJ/m³.

Por otro lado, el Caso de Referencia utiliza diésel para la operación de la caldera y para los sistemas de extracción, asignados a los 84.978 m³ resultantes del proceso de secado. En el caso de la operación, se registra un consumo anual (desde marzo a septiembre) de 39.457



litros, a razón de 263 litros diarios en promedio. Así también, los sistemas de extracción consumen un total de 16.997 litros anuales (desde marzo a septiembre), a razón de 138 litros diarios de combustible. Considerando una densidad del diésel de 0.840 kg/lit y un poder calorífico de 10.900 kcal/lit, se tiene un consumo específico de diésel de 23.72 MJ/m³.

Debido a que ambos casos utilizan el diésel para distintos fines, no fue posible analizar éstos con mayor profundidad.

7.3 PROCESO DE MANUFACTURA

7.3.1 Consumo eléctrico

Ambos casos utilizan electricidad para manufacturar la madera aserrada. Sin embargo, el consumo eléctrico obedecerá a la información disponible y a la metodología utilizada para su determinación.

Para el Caso de Estudio la DIA especifica el consumo eléctrico de los principales equipos a utilizar en la manufactura, detallados en el Anexo B14. El Caso de Estudio presenta un consumo eléctrico de 1.116.000 KWh/año, contemplados para manufacturar 107.335 m³ de madera aserrada seca al año. El proceso de manufactura comprende los subprocesos de cepillado, corte, astillado, línea de paneles y línea de finger joint. Estas operaciones se realizan con el objeto de producir 43.778 m³ de blanks finger joint, 18.875 m³ de paneles edge glue y 117.089 m³ de astillas y aserrín. Ahora bien, teniendo en cuenta que la DIA no establece el consumo específico de cada subproceso, se ponderó el total de energía eléctrica realizando una asignación porcentual de acuerdo a la masa resultante de cada producto. Los residuos de materia prima resultante (restos de cortes y virutas secas) de cada subproceso se fueron asignando al producto astillas y aserrín, sumándose a la masa de aserrín proveniente del aserrío. En relación a la Ilustración N°26, se aprecia notoriamente la baja preponderancia energética que tiene el producto Paneles Edge Glue, consumiendo alrededor de 2.3 veces menos energía que el producto Blanks Finger Joint. Por otra parte, cabe destacar la incidencia en la energía del aserrín y astillas comercializables, producto que si bien se obtiene a raíz de los residuos generados en los procesos de aserrado y manufactura, acarrea consigo la energía eléctrica asignada a estos procesos.

Cabe destacar que tanto para el proceso de aserrío como el de manufactura se utilizó una asignación por masa, lo que pudiese generar errores al considerar densidades no representativas de los materiales analizados. Para el Caso de Estudio se utilizó una densidad media de aserrín de 437.5 kg/m³, no obstante, se considera un supuesto ya que se desconoce en detalle la proporción de astillas, aserrín y viruta generados por cada subproceso de manufactura.

Así también, al finalizar el proceso de manufactura se agregan 269.493 KWh correspondientes a los 7.488 m³ de aserrín proveniente del dimensionamiento de la materia prima en el proceso de aserrío, generando que el producto Astillas y Aserrín tenga una carga energética de 8.05 KWh/m³. En ese sentido, al observar el consumo anual de electricidad, el producto Astillas y

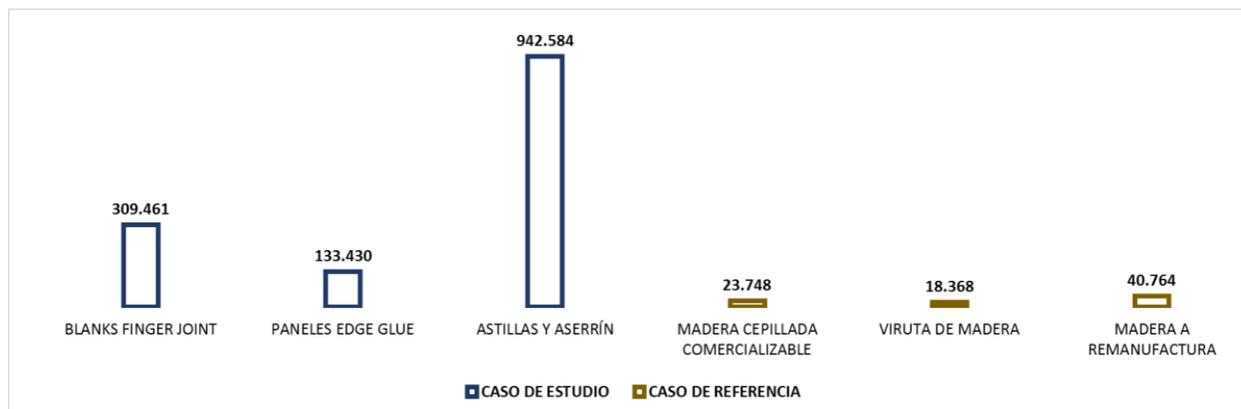
Aserrín consume alrededor de 700% más de energía que los Paneles Edge Glue, a pesar de que su generación sea en base a residuos de materia prima.

Por otro lado, el Caso de Referencia realiza el cálculo de energía eléctrica basándose en la potencia nominal de cada equipo, horas de uso y la contribución de éste al consumo eléctrico total del aserradero. Para este caso, se estima la demanda energética como si toda la maquinaria estuviera operando en su máxima capacidad, entregando una referencia en cuanto a consumo eléctrico. El proceso de manufactura del Caso de Referencia considera sólo el cepillado de la madera aserrada seca (Anexo B11).

De los 84.978 m³ de madera resultante del proceso de secado en el caso de referencia, 34.846 m³ son comercializados previo al proceso de manufactura. Luego, los 50.493 m³ resultantes son enviados a la cepilladora con el objeto de comercializar 14.462 m³ de madera cepillada y 11.186 m³ de viruta seca. Además, el proceso comprende despachar 24.844 m³ de madera cepillada seca a una planta de remanufactura, punto en donde concluyen los límites del ICV. El proceso de manufactura presenta un consumo de 82.910 KWh/año, donde el ejercicio de la cepilladora Newman es el que demanda el 95.4% del total de energía eléctrica.

Ahora bien, comparando los resultados obtenidos por ambas metodologías se tiene:

Ilustración 36: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO MANUFACTURA DE PRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO

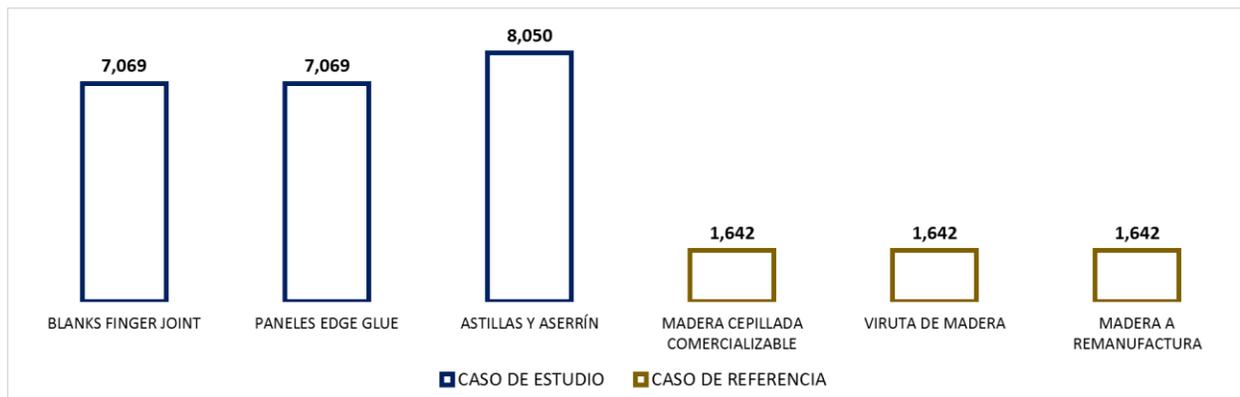


(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo a la metodología empleada, la madera del caso de referencia enviada a remanufactura presenta el 49.2% del total de energía eléctrica, mientras que la madera cepillada comercializada el 28.6% del total. Por otra parte, cabe destacar la influencia de la viruta de madera, que a pesar de ser un subproducto que se origina a raíz del cepillado, representa el 22.2% del total de energía eléctrica.

Por otra parte, al analizar el consumo energético en relación a los m³ de cada producto se tiene:

Ilustración 37: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m³) PROCESO MANUFACTURA DE PRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

Al realizar una asignación de acuerdo al volumen de producción, genera que el consumo eléctrico específico de los productos del caso de referencia sea idénticos, siendo similar a lo ocurrido en el caso de estudio. Sin embargo, al incorporar los 269.493 KWh correspondientes a los 7.488 m³ de aserrín proveniente del dimensionamiento de la materia prima, provoca que el consumo eléctrico específico del producto Astillas y Aserrín aumente en un 13.9%, diferenciándose de los demás productos.

Ahora bien, comparando los resultados obtenidos de acuerdo a ambas metodologías de asignación se tiene que el Caso de Estudio realiza una asignación de acuerdo a la masa resultante de cada subproceso, en cambio, el Caso de Referencia realiza la asignación de acuerdo al volumen resultante de cada producto. Esto último puede provocar errores en los resultados, ya que al realizar una asignación volumétrica a productos con una baja densidad, pero que ocupan un gran volumen como es el caso de la viruta de madera, genera que los resultados sean poco representativos, ya que a los materiales menos densos se les asignaría una mayor cantidad de energía.

El consumo eléctrico de manufactura para el Caso de Estudio resulta más de 13 veces superior al observado en el Caso de Referencia (Anexo B15). Esto último se debe a que los procesos de manufactura difieren unos de otros. Por una parte, el Caso de Estudio considera procesos de cepillado, corte, elaboración de blanks finger joint y fabricación de paneles. Por otro lado, el Caso de Referencia sólo considera el cepillado de la madera aserrada seca, disminuyendo considerablemente el consumo eléctrico.

De modo similar, se analiza el consumo eléctrico para todas las etapas del proceso productivo para ambos casos (Anexo B9). Para el Caso de Estudio, el aserrado de la materia prima

comprende el 76% del consumo total de energía eléctrica, mientras que para el Caso de Referencia representa el 30%. Sin embargo, la mayor preponderancia de este proceso en el Caso de Estudio se debe a que éste presenta un menor consumo eléctrico total, debido a que no utiliza electricidad para el secado de su materia prima. Por otra parte, en ambos casos se establecen supuestos para la determinación de la energía eléctrica, la diferencia es que en el Caso de Referencia las suposiciones se realizan en función de la demanda energética de cada maquinaria involucrada en el proceso, logrando una mayor certeza en sus resultados.

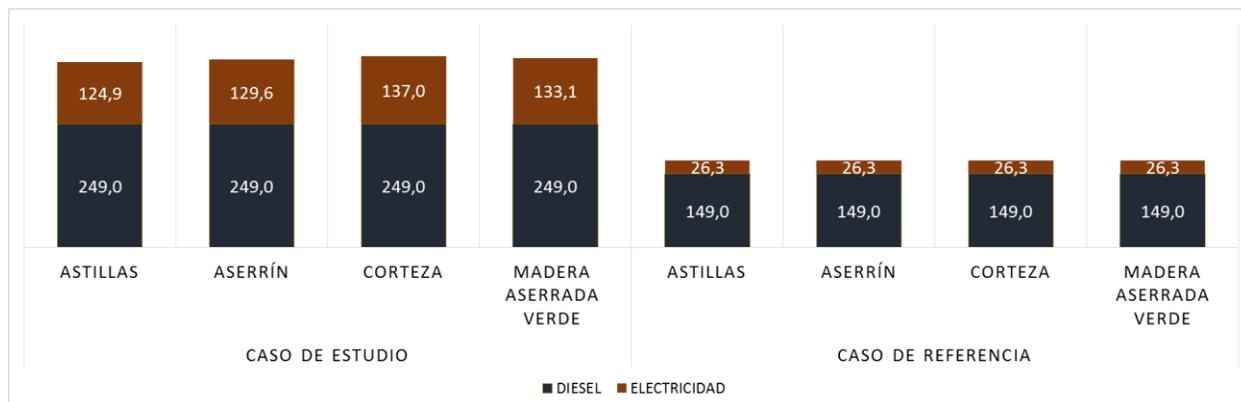
Del mismo modo, en relación al consumo eléctrico del proceso de manufactura, para el Caso de Estudio comprende el 24% del total de energía eléctrica, mientras que para el Caso de Referencia representa solo el 1.1%. Sin embargo, cabe destacar que éste último sólo contempla el cepillado de la madera seca, mientras que en el Caso de Estudio están presentes operaciones de cepillado, corte, astillado, fabricación de blanks finger joint y paneles edge glue, lo que significa un aumento en el consumo eléctrico. En ese sentido, resulta primordial comparar aserraderos que comercialicen productos similares, ya que puede realizarse un análisis más exhaustivo de los procesos involucrados.

De la misma manera se analiza el consumo de diésel para para todas las etapas del proceso productivo para ambos casos, representados en el Anexo B9. En cuanto al transporte de materia prima, ambos casos presentan similares consumos de diésel, siendo el Caso de Referencia un 13.6 % superior. No obstante, el Caso de Referencia adquiere más de la mitad de su materia prima en un rango de entre 20-60 km, lo que debiese generar un menor consumo de combustible, más aún cuando utiliza camiones de una mayor capacidad. Esto último guarda relación con la metodología empleada para la determinación del transporte de los 200.000 m³ de madera para el Caso de Estudio, al que se le asignó un consumo específico de 3.3 lt/m³ en función de la distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos, generando discrepancias con el método empleado por el Caso de Referencia. Además, el Caso de Estudio emplea una metodología diferente en la determinación del consumo de diésel para el transporte de los 50.000 m³, ya que utiliza como referencia a las principales ciudades cercanas a Curanilahue, ocasionando divergencias a lo observado en el Caso de Referencia.

Luego, en relación al consumo de diésel en la etapa de secado, el Caso de Estudio lo emplea para el transporte de los residuos de cenizas resultantes de la combustión del aserrín, consumiendo un total de 20.6 litros al año y representando sólo el 0.00273% del total de diésel. Por el contrario, el Caso de Referencia utiliza el diésel para el funcionamiento de la caldera, consumiendo un total de 56.454 litros por año y significando el 4.28% del total de diésel. Lamentablemente, debido a que en la etapa de secado ambos casos utilizan el diésel para diferentes propósitos, no se pudo analizar con mayor profundidad este energético.

Por último, resulta interesante analizar la incidencia de cada tipo de energía en relación al consumo total de ésta, lo que queda reflejado en el siguiente gráfico.

Ilustración 38: CONSUMO ENERGÉTICO (MJ/m³) DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PROCESO DE ASERRÍO POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

Se analizaron solo los productos comprendidos hasta el proceso de aserrío, ya que ambos casos presentan diferentes procesos en la etapa de manufactura, lo que imposibilita el compararlos con mayor profundidad.

En promedio, el consumo energético total de los productos y subproductos del Caso de Estudio resulta 43.3% superior a los observados por el Caso de Referencia. No obstante, al analizar por separado el consumo de diésel destinado al transporte de materia prima, el caso de referencia registra un consumo 17.9% superior al Caso de Estudio. La mayor diferencia entre ambos casos se aprecia en el consumo eléctrico resultante del Caso de Estudio, siendo un casi 5 veces superior al observado en el Caso de Referencia.

El consumo de electricidad en el Caso de Estudio representa en promedio el 50.9% para los productos astillas, aserrín, corteza y madera aserrada verde. Por otra parte, para los productos del Caso de Referencia el consumo eléctrico alcanza el 15% del total de energía, en parte porque consume un 37,3% menos de energía eléctrica que el Caso de Estudio para un similar volumen de producción.

Por otra parte, el consumo de diésel referido al transporte de materia prima del Caso de Estudio comprende en promedio el 67% del total de energía. No obstante, el Caso de Referencia presenta un consumo interno de diésel que representa el 27.7% del total, que sumado al diésel necesario para el transporte de materia prima, alcanza el 85% del total de energía para el Caso de Referencia.

A continuación, una vez están detallados los consumos energéticos, es necesario analizar las emisiones generadas por cada producto, detalladas en el siguiente gráfico:

Ilustración 39: EMISIONES DE CO₂ eq DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE PROCESO DE ASERRÍO POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

Al igual que en el gráfico comparativo del consumo energético, en el Caso de Estudio el diésel registra una mayor preponderancia, al generar en promedio un 61% más de emisiones que la electricidad. Por otra parte, para el Caso de Referencia el peso de la electricidad aumenta, llegando a alcanzar el 23.5% del total de emisiones. Al igual que en el Caso de Estudio, esto último se ve representado en los factores de emisión utilizados, ya que el diésel (0.0741 kg CO₂/MJ) presenta un factor de emisión 42.6% menor al de la electricidad (0.129kg CO₂/MJ). Así también, el factor de emisión eléctrico para el Caso de Referencia resulta un 74% superior al observado en el Caso de Estudio, poniendo en evidencia la inestabilidad del indicador para la energía eléctrica.

En ese sentido, el factor de emisión eléctrico resulta variable en el tiempo de acuerdo a las fuentes de energía primaria disponibles para la generación de electricidad, dependiendo del mercado de combustibles y condiciones climáticas (Zaror. C, Vega. M, 2008). Esto último resulta apreciable en Chile, ya que dependiendo del lugar en donde se solicite la energía eléctrica se tendrán diferentes factores de emisión. La energía eléctrica proveniente del Sistema Interconectado Central (SIC) está constituida en un 53,46% por centrales hidráulicas, 46,34% por centrales térmicas y 0,2% por centrales eólicas. Sin embargo, el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) está constituido en un 99% por plantas termoeléctricas, lo que genera que las emisiones de este sistema sean 2.2 veces superior a las emisiones producidas por el SIC. Por lo anterior, resulta importante estar al tanto del año del factor de emisión utilizado, ya que pueden generarse diferencias de hasta un 76% entre años de estudio (Ministerio de Energía, 2016).

Resumiendo, en ambos casos los procesos de aserrío generan como producto y subproducto: madera aserrada verde, astillas, aserrín y corteza. De acuerdo a esto, al obtener un promedio entre los dos casos se tiene:

Ilustración 40: CONSUMO ENERGÉTICO PROMEDIO (MJ/m³) DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PARA AMBOS CASOS



(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo al gráfico, durante el proceso de aserrío se necesita en promedio 78.7 MJ/m³ de electricidad (27.5%) para producir astillas, aserrín, corteza o madera aserrada verde. Por otra parte, es necesario en promedio 199 MJ/m³ de diésel (72.5%) referido al transporte de materia prima y consumo interno de maquinaria.

8. CONCLUSIONES

Al término de esta investigación, y en respuesta a las preguntas de investigación planteadas puede señalarse en primer lugar que la madera si bien es un material noble, por naturaleza, su utilización en la construcción trae consigo un consumo energético que no puede ser pasado por alto. Desde que la materia prima es transportada hacia el aserradero ya trae asociado un consumo de diésel, luego, al aserrarla, secarla y manufacturarla se le incluyen consumos eléctricos, de biomasa, y en algunos casos diésel o gas. Así también, dichos consumos también están asociados a diversos factores como la disponibilidad de la materia prima al momento de transportarla al aserradero, el tipo de maquinaria empleada para el aserrío, la estrategia empleada para el secado de la madera, la especie de madera con la que se trabaje y el tipo de producto de madera comercializada entre otros. No obstante, en relación a la tercera pregunta de investigación, el aporte al calentamiento global del proceso productivo de la madera si bien está asociado a estos factores, también está determinado al lugar donde se realice el aserrado y tipo de matriz energética empleada. Esto último en relación a la variabilidad en los factores de emisión de la energía eléctrica.

Se debe destacar el uso de la herramienta del ACV en la evaluación de los impactos ambientales de productos y servicios, convirtiéndose en una herramienta fundamental al momento de realizar declaraciones respecto al desempeño ambiental de éstos. En particular, el presente estudio utilizó la metodología del ACV para la determinación del perfil ambiental de un producto representativo a nivel regional y nacional como es la madera de pino radiata. En ese sentido, de acuerdo a los resultados obtenidos es factible poder determinar el perfil ambiental de la madera aserrada y remanufacturada en relación a su energía contenida y huella de carbono, resultando cierta la hipótesis planteada al inicio de la investigación. No obstante, para realizar un estudio más acabado es necesario que la información sea de un alto nivel de detalle y calidad, debiendo quedar claramente definido los límites del proceso productivo de cada producto y subproducto. Además, para lograr una comparación acertada, resulta fundamental que los productos sean similares, ya que de lo contrario se estarían comparando diferentes procesos lo que restringiría el análisis.

Para el ACV se empleó como herramienta una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), documento de libre acceso que comunica los impactos ambientales de un proyecto o proceso productivo. Luego, para determinar el perfil ambiental se realizó un Inventario de Ciclo de Vida (ICV) del proceso productivo de Foraction Chili, no obstante, en gran parte del estudio se tuvieron que realizar suposiciones para determinar el consumo energético, ya que no se especifica claramente el detalle de las entradas y salidas de los procesos productivos, comprometiendo la precisión del Inventario. Aspectos fundamentales como el consumo de materias primas, consumos de energía, consumo de agua, emisiones al aire o al suelo, no se incluyen en gran parte de las DIA visadas por el SEIA para proyectos de aserraderos. Esto último se debe a que el objetivo del SEIA es certificar que las iniciativas cumplan con los requisitos normativos aplicables, por ende, el nivel de detalle con el que la empresa realice su DIA dependerá de cuan exigente sea la normativa aplicable al proyecto en estudio. En



particular, la normativa referente a proyectos de aserraderos resulta bastante permisible, ya que solo demanda condiciones en relación al consumo de materias primas.

No obstante, a pesar de contar con un instrumento que no proporciona información suficiente, se realizó el análisis de la DIA teniendo en cuenta una serie de supuestos para su determinación, y cumpliendo de esta manera con lo declarado en el objetivo específico N°1. Sin embargo, a pesar de ser una herramienta imprecisa, tiene el atributo de ser público lo que fomentaría la transparencia de información de los impactos ambientales generados por los proyectos visados por el SEIA. Además, al ser de libre acceso permite que cualquier persona pueda acceder a ellos, impulsando la participación ciudadana en la gestión ambiental a nivel nacional.

Ahora bien, en relación a la determinación de los input de energía para la elaboración del ICV, el consumo de diésel referido al transporte de materia prima del caso de estudio se determinó utilizando como referencia a los proveedores de pino radiata aserrado desde las regiones del Maule hasta la región de la Araucanía presentes en la base de datos del INFOR. Teniendo en cuenta que no se contaba con el detalle de los kilómetros recorridos por el camión abastecedor de materia prima, permitió tener una aproximación del consumo de diésel por rangos de kilómetros de acuerdo al volumen de producción de la empresa distribuidora. No obstante sería provechoso que en la DIA se estipulara al menos el rango de kilómetros donde se obtiene la materia prima, acotando los supuestos que restringen la precisión de los resultados. De acuerdo a lo anterior, el Caso de Estudio presenta un consumo de 5.9 lt/m³, calculado para el transporte de 250.000 m³/año de madera Pino Radiata proveniente de aserraderos en un radio de 200 km a la redonda de Curanilahue. En cambio, el caso de referencia presenta un consumo de 2.8 lt/m³, calculado para el transporte de 260.824 m³/año de madera Pino Radiata, de la cual más del 50% proviene de un radio de entre 20-60 km a la redonda. En este punto, al comparar los consumos específicos de combustible se aprecian diferencias de 3.1 lt/m³ de materia prima transportada, lo que es una aproximación bastante precisa teniendo en consideración las diferencias metodológicas para la cuantificación del diésel. Por ende, el procedimiento para cuantificar el diésel en el Caso de Estudio resulta apropiado, sin embargo, éste solo es extrapolable a casos que estén emplazados en sectores cercanos a Curanilahue, ya que la determinación del consumo específico de combustible está en razón de la ubicación de los proveedores cercanos a esta localidad. Por otro lado, resultaría provechoso continuar el análisis georreferenciando la totalidad de los aserraderos desde la región del Maule hasta la Araucanía, pudiendo parametrizar el consumo específico de combustible en función de la ubicación del aserradero.

El análisis del proceso de aserrado entregó un consumo eléctrico superior en un 60% para el Caso de Estudio, aunque en ambos casos se aprecia la preponderancia del proceso de dimensionado de la materia prima, representando en promedio el 83.6% del total de energía eléctrica del aserrado. En otro orden de cosas, ambos casos utilizan diferentes metodologías de asignación para la energía eléctrica, por masa en el Caso de Estudio y por volumen en el Caso de Referencia. La asignación por masa distribuye el total de energía eléctrica de acuerdo a la masa (kg) resultante de productos y subproductos al finalizar el proceso de aserrío. En cambio, la asignación por volumen distribuye el total de energía conforme al volumen resultante (m³) de



productos y subproductos. Sin embargo, al trabajar con productos con una baja densidad se corre el riesgo de que los resultados obtenidos sean poco representativos. En este sentido, la norma ISO 14.040:2006 establece que la asignación volumétrica no es factible de utilizar cuando se trabaja con productos de baja densidad, ya que estos productos utilizan un mayor volumen que peso, entregando resultados poco realistas. A pesar de esto, el Caso de Referencia de todas maneras distribuyó la electricidad de acuerdo al volumen, sin embargo, la principal diferencia entre ambos casos no radica en el balance másico o volumétrico, si no los criterios utilizados para asignar la energía a cada producto y subproducto. Para el Caso de Estudio se distribuyó la energía eléctrica entre el total de subproductos, asignándole la totalidad de ésta al producto resultante madera aserrada verde. Contrario a lo observado por el Caso de Referencia, quien distribuyó el total de energía entre los subproductos y el producto madera aserrada verde. El Caso de Estudio estableció ese criterio ya que se necesita la totalidad de la energía eléctrica para la producción de madera aserrada verde, en otras palabras, no es posible obtener madera aserrada verde sin antes descortezar ni dimensionar la materia prima. Esto último es de suma importancia, ya que esta metodología de asignación distribuye el total de electricidad de acuerdo al volumen de producción, por lo que al desagregar la madera aserrada verde significa un consumo energético de en promedio 2 veces menos para los subproductos y productos. Esto último puede ocurrir en casos donde la empresa presente un consumo muy elevado de energía, pudiendo generarse inconvenientes al momento de hacerlos públicos a al resto de la población.

Por otra parte, en relación al proceso de secado, ambos casos utilizan biomasa para el funcionamiento de la caldera, determinando el cálculo energético mediante el Poder Calorífico Inferior (PCI) de la biomasa empleada. Para el Caso de Estudio se establece el supuesto de que los 15.000 m³/año de aserrín combustible se secarán previamente hasta alcanzar un 15% de humedad, entregando 15.588 MJ/Kg de aserrín. No obstante el Caso de Referencia utiliza una mezcla de aserrín, astillas y viruta de madera con una humedad del 44%, entregando 9.50 MJ/kg de mezcla de biomasa. En ese sentido, cabe destacar la influencia del contenido de humedad de la biomasa en la energía disponible para el secado. Por ejemplo, si el Caso de Referencia secara su biomasa previa a su utilización al igual que Foraction Chili necesitaría solo 29.216 m³ en vez de 47.812 m³ para producir la misma energía. Por otro lado, si Foraction decidiera no secar su biomasa antes de utilizarla, debería consumir un 64% más de aserrín con el objeto de producir la misma energía de secado. De cualquier modo, teniendo en cuenta el PCI entrega sus resultados en términos de masa, es necesario emplear una densidad de biomasa con el objeto de cuantificar el consumo energético anual del proceso de secado. El Caso de Estudio utiliza solo aserrín como combustible biomásico, al que se le asocia una densidad de 437,5 kg/m³. En cambio, el Caso de Referencia utiliza una mezcla de aserrín, astillas y viruta de madera, al que se le asocia una densidad general de pino radiata de 700 kg/m³. Esto último genera que el cálculo del consumo energético no sea preciso, ya que considera los 3 tipos de biomasa como si fuera uno solo, lo que es ajeno a la realidad. Por ende, para obtener datos más exactos se propone ponderar la densidad de cada tipo de biomasa de acuerdo a su grado de contribución en la mezcla total, calculando una densidad promedio que permita aproximar de mejor manera la energía consumida.

En relación a los procesos de remanufactura, del Caso de Estudio cabe destacar la preponderancia en el consumo eléctrico para la fabricación de blanks finger joint, quienes reportan alrededor de 2.3 veces más de energía que el producto paneles edge glue. Desde otra perspectiva, el proceso de manufactura del Caso de Referencia solo contempla el cepillado de la madera aserrada seca, donde el ejercicio de la cepilladora Newman demanda el 95.4% de la energía eléctrica del proceso. En consecuencia, a pesar de que ambos casos cumplen con los requisitos de comparabilidad dispuestos por la norma ISO 14.040:2006, no fue posible comparar con mayor profundidad los procesos de manufactura, siendo imprescindible para la comparación que los productos analizados sean similares.

Ahora bien, dando respuesta a la segunda pregunta de investigación, la incidencia de cada proceso en relación a su consumo energético estará supeditado al tipo de producto comercializado. En el caso de la madera se comercializable verde, el transporte de la materia prima adquiere una mayor relevancia, resultando en promedio el 63% de toda la energía consumida hasta el proceso de aserrado. No obstante, al manufacturar la madera del caso de estudio, ocasiona que el proceso de secado adquiera una mayor preponderancia adquiriendo el 73% del total de energía al momento de comercializar el producto. En ese sentido, ocurre la misma situación al analizar los productos manufacturados por el caso de referencia, resultando el proceso de secado el 84% del total de energía al momento de comercializar el producto. Sin embargo, con respecto a la tercera pregunta de investigación, cabe destacar la importancia en la utilización de biomasa para el secado de la madera, resultando nulo el aporte al calentamiento global durante la etapa de secado, y otorgándole un mayor peso a las emisiones asociadas al consumo eléctrico producto del aserrado de la materia prima.

8.1 APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de estudios de impacto ambiental bajo perspectiva de ciclo de vida resulta fundamental para la construcción sustentable, ya que a simple vista resulta complejo determinar qué tipos de construcciones se enmarcan dentro de esta lógica. Tomando como ejemplo la incorporación de la madera aserrada en la construcción de viviendas, durante su etapa de uso usualmente es complementada con materiales aislantes de alto impacto ambiental como el poliestireno expandido, incrementando su carga ambiental. En ese sentido, el presente estudio solo comparó la madera aserrada de pino radiata desde la cuna a la puerta, no obstante resultaría interesante realizar una comparación con otro tipo de materiales como el hormigón o el acero, pero incluyendo etapas de operación y mantenimiento.

Además, la utilización de Análisis de Ciclo de Vida permite dar cuenta de las posibles oportunidades de mejora a los procesos productivos de los productos, o la incorporación de parámetros medioambientales al momento de su desarrollo, fomentando el ecodiseño de éstos. En esa línea, en relación a la madera aserrada de pino radiata, la presente investigación rescata el proceso de secado de la biomasa para el funcionamiento de calderas, optimizando los residuos generados a raíz del mismo proceso productivo de la madera aserrada.

Por otro lado, al conocer los impactos ambientales de materiales de construcción bajo enfoque de ciclo de vida, permitiría mejorar la ecoeficiencia en las edificaciones al darle mayores herramientas a diseñadores para elegir materiales de bajo impacto ambiental, disminuyendo a



su vez las asimetrías de información entre proveedores y consumidores. En ese sentido, la comunicación del perfil medioambiental resulta primordial para fomentar el ecodiseño y la ecoeficiencia, así como la estandarización de los impactos ambientales mediante etiquetados medioambientales para facilitar la comparación entre productos.

Así también, de acuerdo a los compromisos declarados por la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (ENCS), la generación de información ambiental de materiales de construcción permite contribuir al objetivo de reducción del 20% de emisiones, y de un 12% en la demanda energética proyectada para el año 2020. Esto último es factible puesto que al utilizar una metodología bajo enfoque de ciclo de vida, permite detectar oportunidades de mejora para optimizar los procesos productivos de productos con el objeto de reducir los consumos de energía.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C., Ramos-Maldonado, M., Aguilera, C., & Monsalve-Lozano, D. (2015). Optimización 3D de patrones de corte para trozas de Pino radiata con cilindro central defectuoso. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(2), 421-434.
- Acuerdos Internacionales. Diario Oficial de la Unión Europea: Consejo de la Unión Europea, 13 de julio de 2015. L 207/1
- Aguilar, C & Sanhueza, R (2003). Caracterización y Estandarización de Productos, Procesos y Equipos en la Industria del Aserrío (Tesis de pregrado). Universidad del Bío-Bío. Chile.
- Aranda, E., Sampedro, I., Díaz, R., García, M., Arriagada, C., Ocampo, J.A. & GarcíaRomera, I. (2008). Tópicos sobre diversidad, ecología y biotecnología de los hongos microscópicos. *Red Redemic. México*. 234 p.
- Aranda, E., Sampedro, I., Díaz, R., García, M., Arriagada, C., Ocampo, J.A. & GarcíaRomera, I. (2008). Tópicos sobre diversidad, ecología y biotecnología de los hongos microscópicos. *Red Redemic. México*. 234 p.
- ARGÜELLO Teresa, ARAGÜELLES Beatriz, BADILLO Rosa. Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la construcción en México. México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, 2013.
- Armesto, J., Villagrán, C., & Donoso, C. (1994). La historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo*, 10(1), 66-72.
- Arreaga, José. (2007) RENDIMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN ROLLO A MADERA ASERRADA DE LA ESPECIE DE CAOBA (*Swietenia macrophylla*), EN DOS ASERRADEROS DEL MUNICIPIO DE FLORES, PETEN. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Avila Fellay, J. (2012). ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE SECADO DE MADERA. (Tesis de grado). Universidad de Chile, Chile.
- Caballero, M. [et al.] 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Disponible en: file:///C:/Users/ubb/Downloads/EfEcto_invErnadEro_calEntamiEnto_global_y_cambio_c.pdf
- Campos, J., & Cerda, I. ESTUDIO: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SOBRE PRODUCTOS FORESTALES MADEREROS EN CHILE.
- Carmona, F. (2010). ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA EN LA CONSTRUCCIÓN DE OBRA GRUESA DE 3 EDIFICIOS DE ALTURA MEDIA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CHILE (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Cea, M. (2003). Caracterización de astillas y aserrín para una planta de tableros de partículas en Valdivia. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- CIB, Conseil International du Bâtiment. Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication 237, Netherlands 1999. 120 p. ISBN 90-6363-015-8.
- Código de Construcción Sustentable, 2014. Construcción Sustentable {en línea}. Versión final. Santiago, Chile. Disponible en: <http://csustentable.minvu.cl/wp-content/uploads/2015/09/C%C3%B3digo-de-Construcci%C3%B3n-Sustentable-Primera-Versi%C3%B3n-espa%C3%B1ol.pdf>
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). El sello de reconocimiento ambiental en Chile. LC/R 1286. 18 de junio 1993.

- CORMA, 2003. Compendio de directrices para enseñanza de ingeniería. Disponible en: <http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/04/comp-ing.pdf>
- CORMA, 2013. Corporación de Desarrollo Tecnológico: La construcción de viviendas en madera. Primera edición. Santiago, Chile.
- Corporación chilena de la Madera. (2007). Manual para la construcción de viviendas en madera.
- Corporación chilena de la Madera [www.corma.cl]. 2016. Medioambiente, sustentabilidad ambiental, recursos renovables [consulta 13 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.corma.cl/medioambiente/sustentabilidad-ambiental>
- Corporación chilena de la madera. (2007) Acuerdos de producción limpia sector forestal. Recuperado de www.corma.cl/_file/material/apl.ppt.
- Corporación chilena de la Madera. (2016). CORMA BIOBIO. 28-6-2016, de Corporación chilena de la madera Sitio web: <http://www.corma.cl/quienes-somos/sedes-regionales/biobio>
- Corporación Nacional Forestal. (2016). DL 701 y sus reglamentos. 28-06-2016, de Corporación Nacional Forestal Sitio web: <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/plantaciones-forestales/dl-701-y-sus-reglamentos/>
- CUCHÍ, A. Los ciclos de materiales en la edificación. Materiales y tecnologías respetuosas con el medio.2003. Universidad Autónoma de Chiapas
- Doerner, Sebastián. (2009) PROYECTO CAMARA DE SECADO PARA MADERA ELABORADA. (Tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Chile.
- EDUARDO GÓMEZ IHMAIDAN, MILTON RAMÍREZ MONARDEZ. (segundo semestre 2016). ANALISIS Y ESTUDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL DE LA MADERA. Revista ingeniería industrial, vol 1, 23-30.
- Egas, AF. 1998. Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis Dr. CC Forestales. Cuba, Universidad de Pinar del Río. 100p.
- Encinas, Osvaldo; Briceño, Ignacio. Efecto del contenido de humedad en la madera de pino caribe para embalajes, sometida a tratamiento térmico, NIMF 15. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Merida (Venezuela).
- España, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 2000. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Aserraderos y tratamiento químico de la madera. s.l.. Departamento de ordenación del territorio, vivienda y medioambiente Gobierno Vasco. 145 p. INTERNET: <http://www.ihobe.es>.
- Estrategia Nacional de Construcción Sustentable, 2013. Construcción Sustentable {en línea}. Santiago, Chile. Disponible en: http://csustentable.minvu.cl/wp-content/uploads/2014/11/Estrategia-Construccion-Sustentable_ENERO-2014_VF_Baja.pdf
- Fernandoy, M. (2007). Optimización del sistema de alimentación de combustible a caldera N°1 en aserradero Los Coigües. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Fernandoy, M. (2007). Optimización del sistema de alimentación de combustible a caldera N°1 en aserradero Los Coigües. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Flores, F. (2011). Manifiesto por la Vida y la Justicia Climática. Programa Chile Sustentable. Área de Energía y Protección del Clima. Obtenido el día 13 de abril del año 2012, desde dirección <http://www.chilesustentable.net/2010/03/24/manifiesto-por-la-vida-y-la-justicia-climatica/>
- Food and Agriculture Organization. 2003. *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. Roma, Italia. ISBN 92-5-302912-9

- Food and Agriculture Organization. 2003. *Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales*. Roma, Italia. ISBN 92-5-302912-9
- G. A. Salini Calderón, “Estudio Acerca del Material Particulado Emitido en Ciudades de Tamaño Medio al Sur de San- tiago de Chile,” INGE CUC, vol. 10, no. 1, pp. 97–108, 2014.
- Gabriel Cereceda Balic. (2015). BASES PARA UNA ESTRATEGIA COMUNICACIONAL MULTISECTORIAL DE ASPECTOS AMBIENTALES PARA PRODUCTOS SUSTENTABLES. 18-6-2016, de Ministerio del Medio Ambiente Sitio web: <http://portal.mma.gob.cl/segundo-dialogo-publico-privado-consumo-sustentable-y-estilos-de-vida>
- Gatica, N. (2011). *Eficiencia Energética en la Infraestructura Educativa Pública*. Tesis de Magister Publicada, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío Bío.
- GONZÁLEZ, Patricio. Disponibilidad de residuos madereros provenientes de la industria primaria de la madera para uso energético XI Región de Aysén. *Seminario de INFOR. Chile, 2006*
- GONZÁLEZ, Patricio. Disponibilidad de residuos madereros provenientes de la industria primaria de la madera para uso energético XI Región de Aysén. *Seminario de INFOR. Chile, 2006*.
- HERNAN POBLETE W. y JUAN P. SANCHEZ A.. (27-05-91). Tableros con corteza de Pinus Radiata. *Bosque*, 12, 17-26.
- HERNAN POBLETE W. y JUAN P. SANCHEZ A.. (27-05-91). Tableros con corteza de Pinus Radiata. *Bosque*, 12, 17-26.
- Hernández, J. (2013). Metodología basada en el ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios (Tesis doctoral). Universidad de Catalunya, Catalunya España.
- Instituto Forestal. INFOR. 2012a. Anuario Forestal. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Boletín Estadístico N° 136.
- Instituto Forestal. INFOR. 2015. Anuario Forestal. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Boletín Estadístico N° 150.
- Instituto Forestal. INFOR. 2015. Anuario Forestal. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Boletín Estadístico N° 150.
- Instituto Forestal. INFOR. 2015. Anuario Forestal. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Boletín Estadístico N° 150.
- Instituto Forestal. INFOR. 2015. La industria del aserrío. Gobierno de Chile. Boletín Estadístico N° 151.
- Jacobo, G. J. V., & Edgardo, D. (2004). Una chance para el futuro: la madera como alternativa para la construcción. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*.
- MARIO MENESES, SERGIO GUZMÁN. (2000). Productividad y eficiencia en la producción forestal basada en las plantaciones de pino radiata. *BOSQUE*, 21, 3-11.
- MARTÍN VIDE, Javier. La nueva realidad del calentamiento global. Un decálogo del cambio climático. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1 de agosto de 2008, vol. XII, núm. 270 (23). <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-270-23.htm>> [ISSN: 1138-9788]
- Melo, R. Paz, J. Tecnología de la Celulosa y el Papel. Física y Química de la Madera. Laboratorio de Productos Forestales- Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. 1995.
- Melo, R. Paz, J. Tecnología de la Celulosa y el Papel. Física y Química de la Madera. Laboratorio de Productos Forestales- Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. 1995.

- Mena, M & Godoy, A. Encuesta de medioambiente revela por primera vez percepción, conocimiento y hábitos verdes de los chilenos. [Consulta el 6 de junio de 2016]. Disponible en: <http://ambiental.unab.cl/2010/04/noticia-destacada/>
- Ministerio de Energía [http://www.energia.gob.cl/]. 2016. Chile. Ministerio de energía, Inventario de GEI para PyMEs. [Consulta el 6 de junio 2016]. Disponible en: <http://huelladecarbono.minenergia.cl/>
- MINISTERIO DE ENERGÍA, [http://huelladecarbono.minenergia.cl/]. 2016. Inventario de emisiones de GEI para PyMES, reportes de emisión para el SIC. [Consultada 11 septiembre 2016]. Disponible en: <http://huelladecarbono.minenergia.cl/emision-para-el-sic>
- Ministerio del Medio Ambiente (Chile). Decreto N° 40: Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Santiago, Chile. 2013.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia (Chile). Ley 19.300: Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente. Santiago, Chile. 1994.
- MUMMA, T. Reducing the Embodied Energy of Buildings. 1995. Disponible en <<http://www.homeenergy.org/show/article/filter/1995/id/1105>>. Acceso 14 mayo, 2010.
- Muñoz. C, Zaror. C, Saelzer. G, Cuchí. A. (7-12-2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. Revista de la Construcción, Vol 11, 125-145.
- ONEIL, Elaine; MILOTA, CORRIM Mike. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest. 2012.
- ONEIL, Elaine; MILOTA, CORRIM Mike. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest. 2012.
- ONEIL, Elaine; MILOTA, Mike. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Southeast. 2012.
- ONEIL, Elaine; MILOTA, Mike. Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Southeast. 2012.
- Peña, A. (2010). DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DOS CEPAS DE HONGOS BASIDIOMYCOTA PARA DEGRADAR CELULOSA EN CHIP DE PINUS RADIATA (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Prysmá, 2007. *Guía práctica para la aplicación del ecodiseño*. Primera edición. Cepyme Aragón: Zaragoza, España.
- Red Madera. 2006. "Secado de la madera", Documento técnico n° 3. Ministeriode educación. Programa ChileCalifica. Red manufacturera de la Madera de la región del Maule. Talca, enero 2006.
- Rodolfo Quirós, Orlando Chinchilla, Marianela Gómez. (27-05-2005). RENDIMIENTO EN ASERRÍO Y PROCESAMIENTO PRIMARIO DE MADERA PROVENIENTE DE PLANTACIONES FORESTALES. AGRONOMÍA COSTARRICENSE, vol. 29, 7-15.
- Secretaria general de la presidencia. (7-10-2014). Aprueba la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada en Doha, Qatar, el 8 de diciembre de 2012. Cámara de diputados Chile, 9625-10, 362.
- Servicio de Evaluación Ambiental [sitio web]. 2016. ¿Qué es SEIA? [consulta 22 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.sea.gob.cl/sea/que-es-seia>
- Superintendencia del Medio Ambiente [sitio web]. 2016. Quienes somos, Historia [consulta 22 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.sma.gob.cl/index.php/quienes-somos/que-es-la-sma/historia>



- Tablev s.a. [página web] 2016. Tableros alistonados de madera maciza. [consulta el 29 de octubre 2016]. Disponible en: <http://www.tablev.es/insignis.aspx?cat=1>
- Troncoso Matamoros, C. A. (2015). Optimización de los procesos de planificación de la producción de aserraderos.
- Urquizar, M. (2013). RESGUARDO DEL DERECHO AMBIENTAL FRENTE A LOS PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTOS DE RESIDUOS Y RECICLAJE (Tesis de grado). Universidad Andrés Bello, Santiago.
- Van Hemel, C. (1998). EcoDesign empirically explored – Design for Environment in dutch small and medium sized enterprises, Delft University of Technology, Delft.
- Verdes Cabarcos, Y. (2014). *Las etiquetas ambientales, régimen jurídico del etiquetado ecológico*. Maestría. Universidad de la Coruña.
- Zabala, D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 49 p. (Serie de Apoyo Académico no. 44).
- Zaror, C.; Vega, M. 2008. Revista Induambiente. *La huella eléctrica*, pp. 44-47.

10. ANEXO A: CONSUMO DE DIESEL POR RANGO DE KILÓMETROS

ANEXO A1

Tabla 18: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-200 KM

NOMBRE ASERRADERO	TIPO	DISTANCIA FORACTION	PROMEDIO RANGO 0-200 KM
Aserraderos Arauco S.A. (Planta El Colorado)	GRANDE	5,8	104,1
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 1)	GRANDE	34,2	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 2)	GRANDE	34,2	
CMPC Maderas S.A. (Planta Nacimiento)	GRANDE	87,6	
Forestal León Ltda. (Planta Coelemu)	GRANDE	156	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Nueva Aldea)	GRANDE	160	
Masisa S.A	GRANDE	168	
CMPC Maderas S.A. (Planta Bucalemu)	GRANDE	187	
Forestal Tromen S.A. (Planta Coronel)	MEDIANO	74	130,5
Aserradero Victoria S.A	MEDIANO	187	

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO A2

Tabla 19: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-200 KM

Distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos	Consumo combustible resultante de la distribución de madera (lt/m ³)
1G - 0 M	5,8
0,9G - 0,1 M	5,9
0,8G - 0,2 M	6,1
0,7G - 0,3 M	6,2
0,6G - 0,4 M	6,4
0,5G - 0,5 M	6,5
0,4G - 0,6 M	6,7
0,3G - 0,7 M	6,8
0,2G - 0,8 M	7,0
0,1G - 0,9 M	7,1
0G - 1 M	7,3

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO A3

Tabla 20: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-300 KM

NOMBRE ASERRADERO	TIPO	DISTANCIA FORACTION	PROMEDIO RANGO 0 -300 KM
Aserraderos Arauco S.A. (Planta El Colorado)	GRANDE	5,8	147
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 1)	GRANDE	34,2	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Horcones 2)	GRANDE	34,2	
CMPC Maderas S.A. (Planta Nacimiento)	GRANDE	87,6	
Forestal León Ltda. (Planta Coelemu)	GRANDE	156	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Nueva Aldea)	GRANDE	160	
Masisa S.A	GRANDE	168	
CMPC Maderas S.A. (Planta Bucalemu)	GRANDE	187	
Aserraderos Arauco S.A. (Planta Cholguan)	GRANDE	201	
Aserraderos J.C.E. S.A	GRANDE	206	
Promasa S.A	GRANDE	209	
CMPC Maderas S.A. (Planta Mulchén)	GRANDE	212	
Forestal Tromen S.A. (Planta Nueva Imperial)	GRANDE	246	
Forestal Tromen S.A. (Planta Coronel)	MEDIANO	74	
Aserradero Victoria S.A	MEDIANO	187	
Aserraderos Cerro Colorado S.A	MEDIANO	201	
Maderas Jaime Venturelli Y Cía. Ltda. (Planta Lautaro)	MEDIANO	240	

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO A4.

Tabla 21: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-300 KM

Distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos	Consumo combustible resultante de la distribución de madera (lt/m3)
1G - 0 M	8,1
0,9G - 0,1 M	8,3
0,8G - 0,2 M	8,5
0,7G - 0,3 M	8,6
0,6G - 0,4 M	8,8
0,5G - 0,5 M	8,9
0,4G - 0,6 M	9,1
0,3G - 0,7 M	9,3
0,2G - 0,8 M	9,4
0,1G - 0,9 M	9,6
0G - 1 M	9,8

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO A5

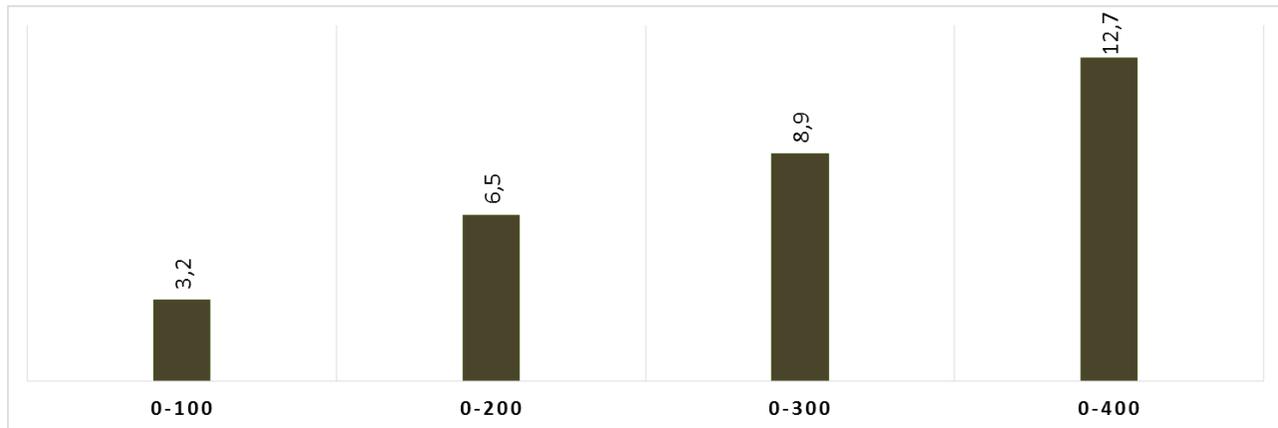
Tabla 22: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-400 KM CASO DE ESTUDIO

Distribución de madera entre aserraderos grandes y medianos	Consumo combustible resultante de la distribución de madera (lt/m3)
1G - 0 M	11,0
0,9G - 0,1 M	11,4
0,8G - 0,2 M	11,7
0,7G - 0,3 M	12,1
0,6G - 0,4 M	12,4
0,5G - 0,5 M	12,7
0,4G - 0,6 M	13,1
0,3G - 0,7 M	13,4
0,2G - 0,8 M	13,8
0,1G - 0,9 M	14,1
0G - 1 M	14,4

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO A6

Ilustración 41: CONSUMO ESPECÍFICO PROMEDIO DE DIESEL (LT/M3)
POR RANGO DE KILOMETROS PARA CASO DE ESTUDIO

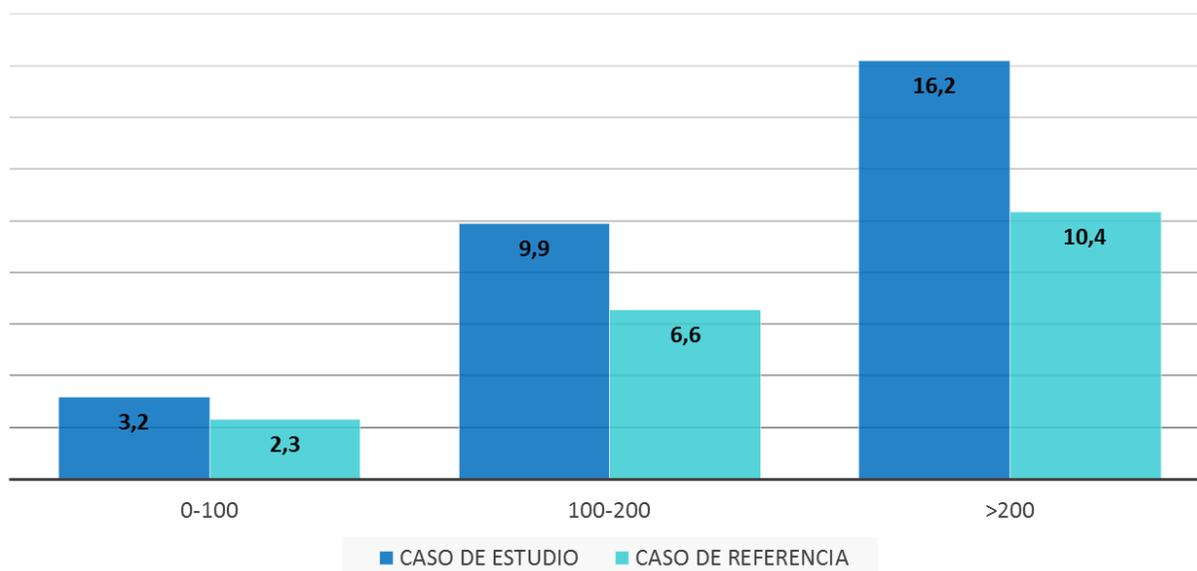


(Fuente: Elaboración propia)

11. ANEXO B : CONSUMO ANUAL DE COMBUSTIBLE Y MATERIA PRIMA

ANEXO B1.

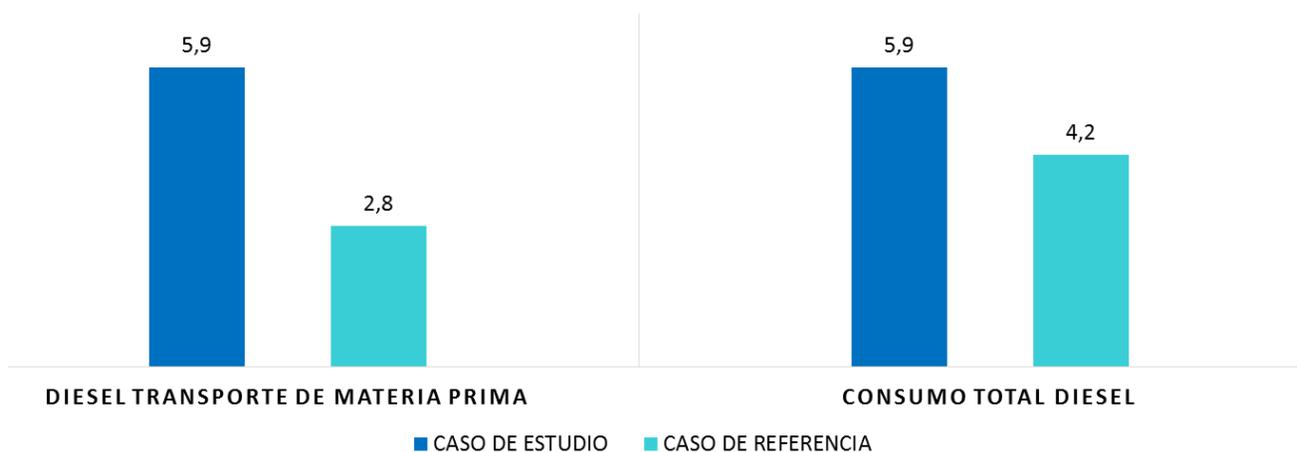
Ilustración 42: CONSUMO ESPECÍFICO DE DIÉSEL (LT/M3) PARA TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA DE CASOS DE ESTUDIO POR RANGO DE KILÓMETROS



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B2

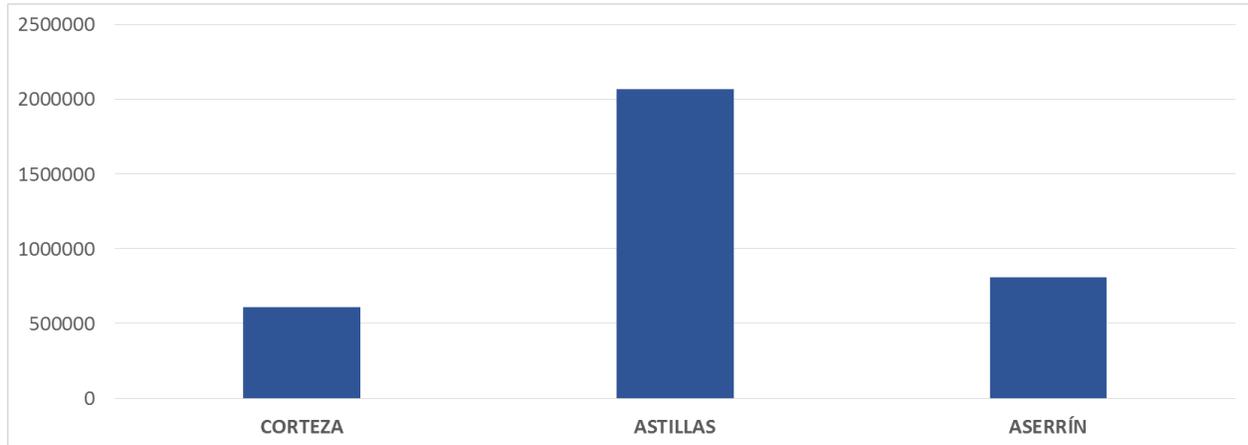
Ilustración 43: CONSUMO ESPECÍFICO DE DIÉSEL (LT/M3) PARA TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA POR CASOS DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B3

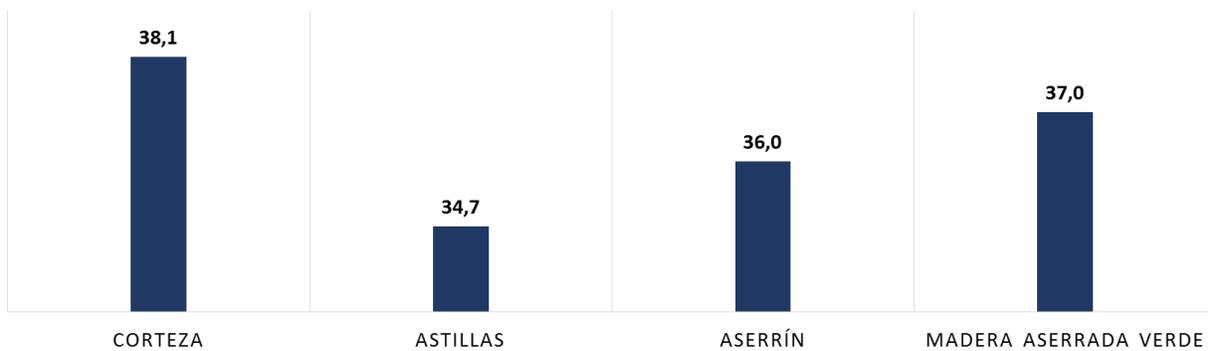
Ilustración 44: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO POR SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B4

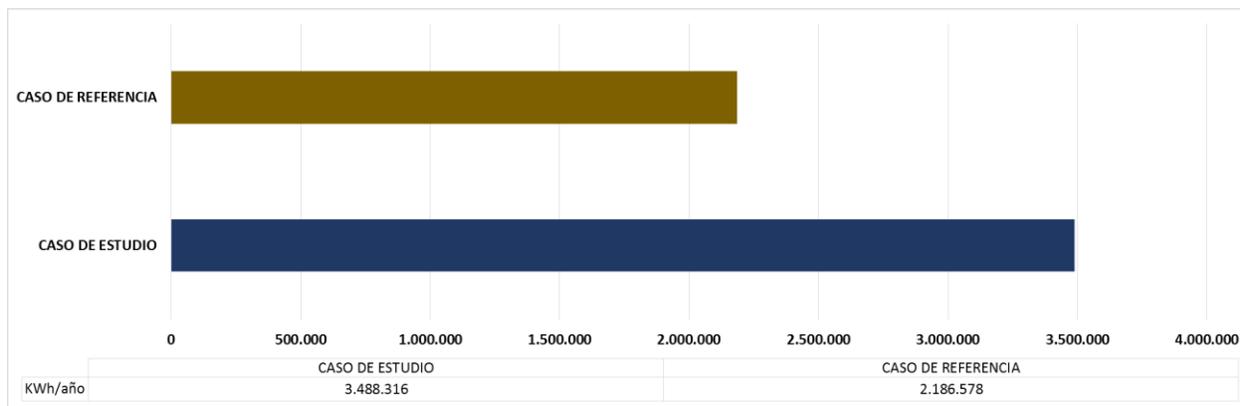
Ilustración 45: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m³) PROCESO DE ASERRADO POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B5

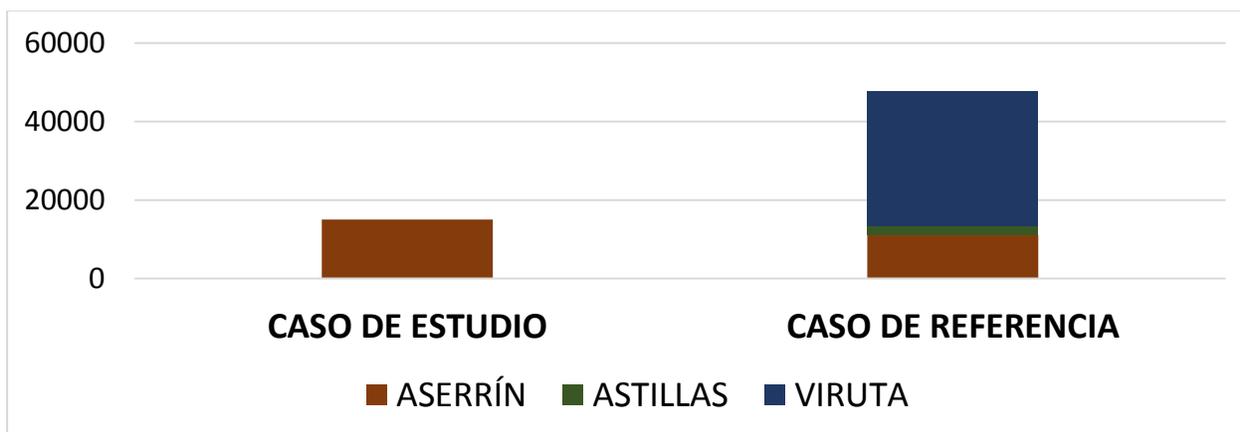
Ilustración 46: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B6

Ilustración 47: CONSUMO DE BIOMASA (M3/AÑO) PROCESO DE SECADO POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B7

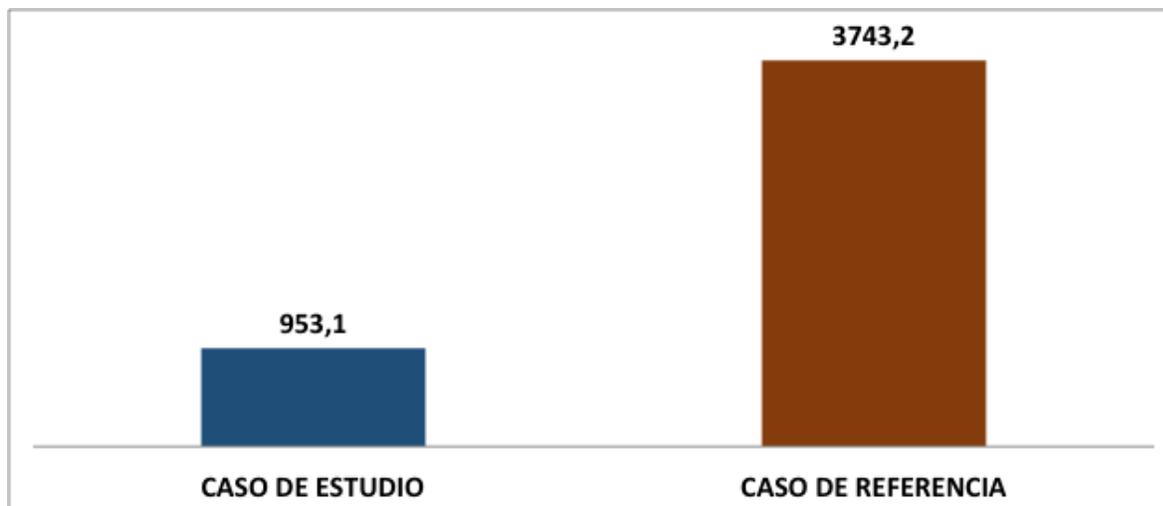
Ilustración 48: PODER CALORÍFICO INFERIOR (MJ/kg) POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B8

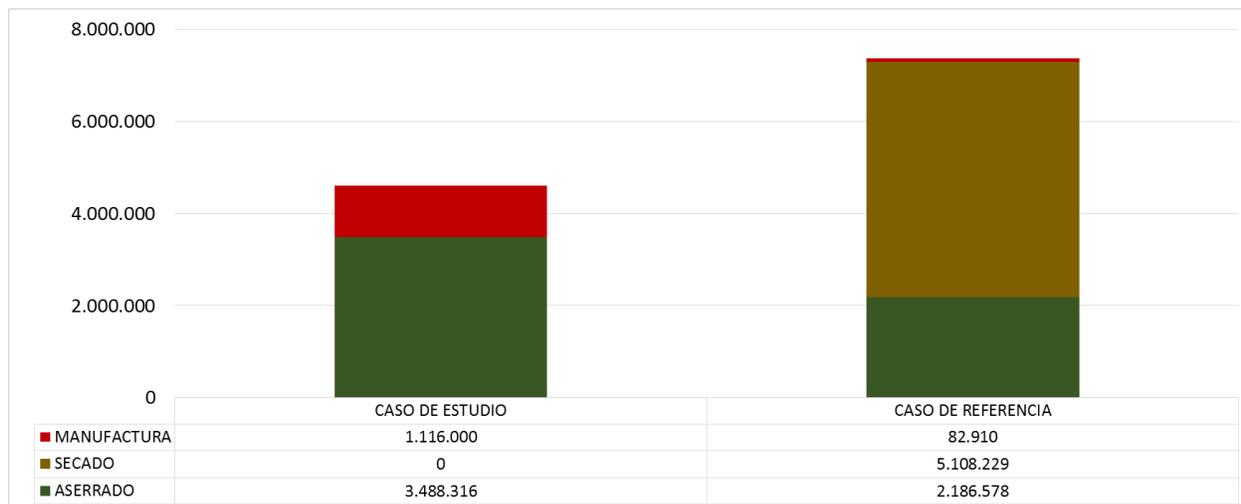
Ilustración 49: CONSUMO DE BIOMASA (MJ/m³) PROCESO DE SECADO POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B9

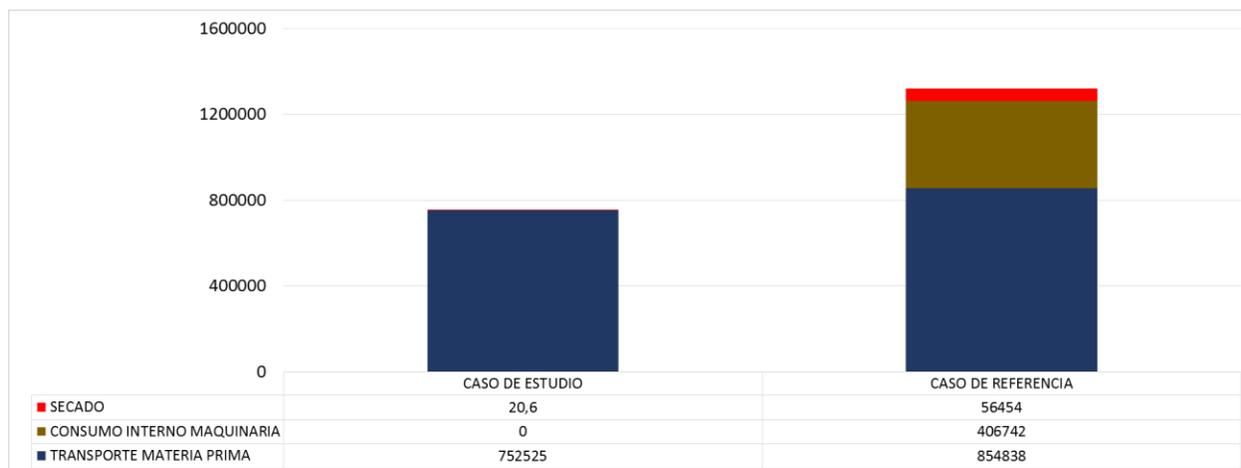
Ilustración 50: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL DE PROCESOS (KWh) POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B10

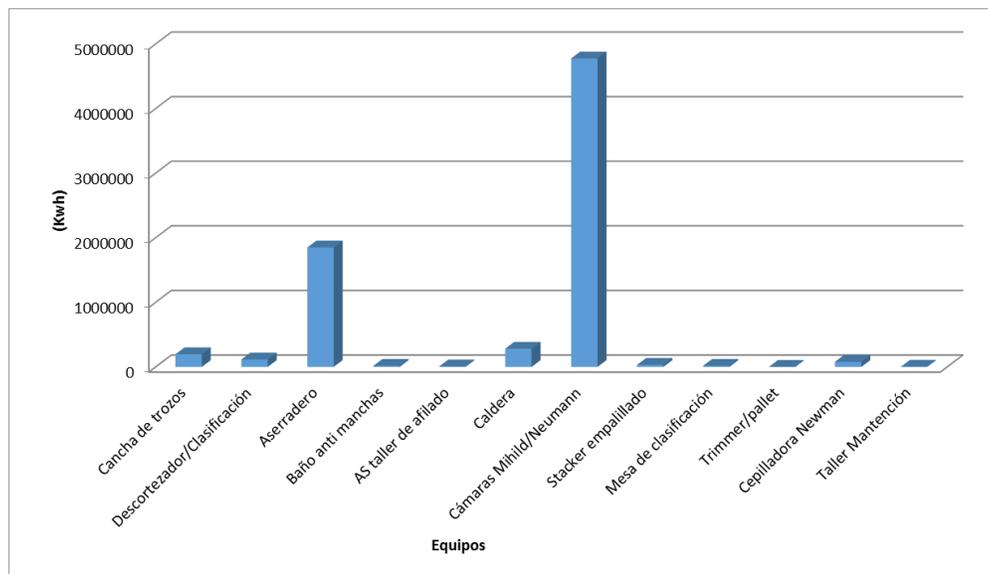
Ilustración 51: CONSUMO DE DIESEL ANUAL DE PROCESOS (LT) POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B11

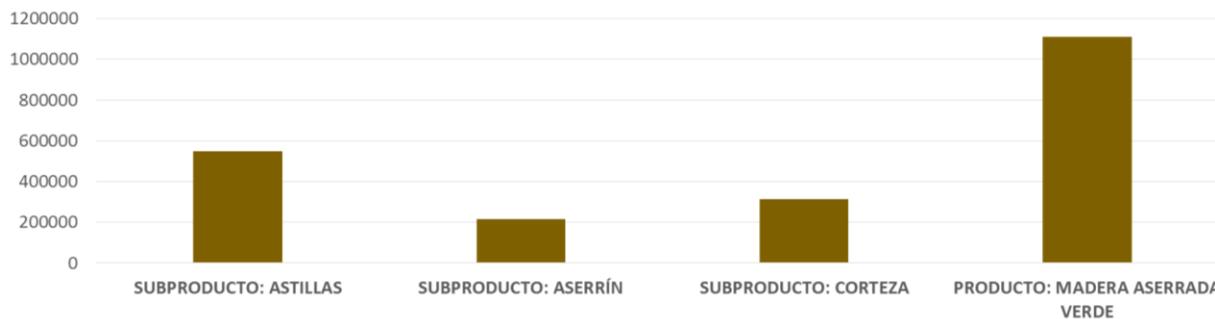
Ilustración 52: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO PRODUCTIVO ASERRADERO CASO DE REFERENCIA



(Fuente: Muñoz, C. 2012)

ANEXO B12

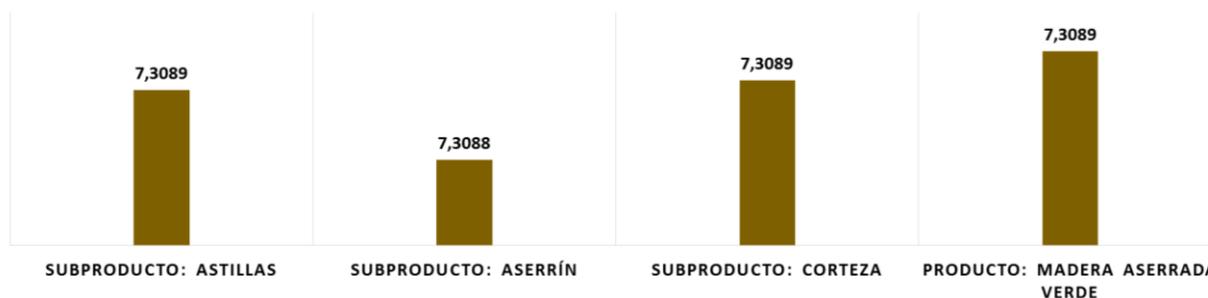
Ilustración 53: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO CASO DE REFERENCIA



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B13

Ilustración 54: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m³) POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO CASO DE REFERENCIA



(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B14

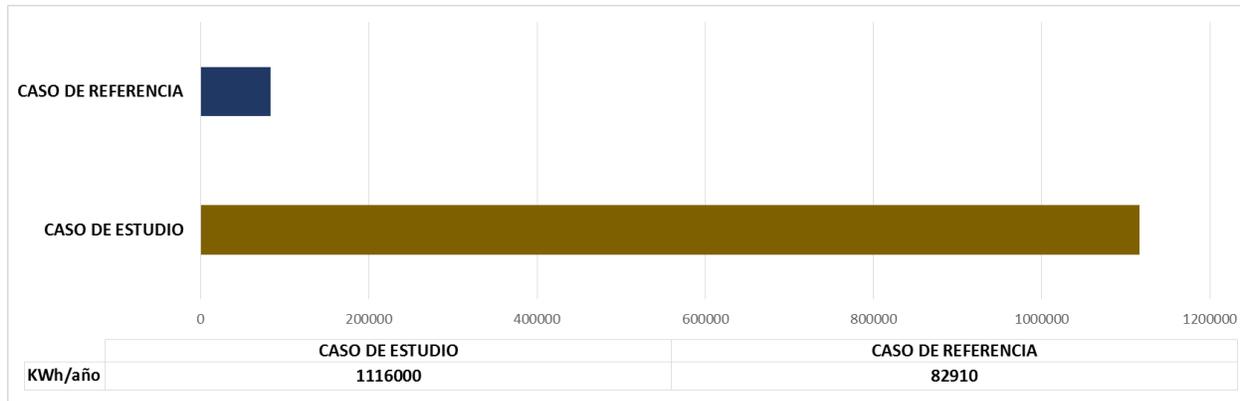
Tabla 23: EQUIPOS UTILIZADOS EN MANUFACTURA CASO DE ESTUDIO

PRINCIPALES EQUIPOS A UTILIZAR EN MANUFACTURA	
EQUIPO	ENERGÍA CONSUMIDA (KWh/año)
Sierra múltiple	624.000
Unidad de trozado	60.000
Unidad finger joint	432.000
TOTAL	1.116.000

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO B15

Ilustración 55: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE MANUFACTURA POR CASO DE ESTUDIO



(Fuente: Elaboración propia)

12. ANEXO C

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: “MARCO DE REFERENCIA DE UN ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)”	13
Ilustración 2: “ESQUEMA ENTRADAS Y SALIDAS DE UN SISTEMA PRODUCTO”	13
Ilustración 4: “ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN”	18
Ilustración 5: “DISTRIBUCIÓN DE MADERA ASERRADA PARA CONSUMO INTERNO”	21
Ilustración 6: “PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA POR AÑO”	22
Ilustración 7: “PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA EN ASERRADERO TIPO PERMANENTE / RANGO DE PRODUCCIÓN”	23
Ilustración 8: RUEDA ESTRATÉGICA DEL ECODISEÑO.....	28
Ilustración 3: “ALCANCES DE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA”	32
Ilustración 9: “DIAGRAMA DE FLUJOS DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A”	33
Ilustración 10: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS A NIVEL NACIONAL”	36
Ilustración 11: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS A NIVEL NACIONAL”	37
Ilustración 12: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS POR REGIÓN”	38
Ilustración 13: “DISTRIBUCIÓN DE ASERRADEROS POR RANGO DE KILÓMETROS”	41
Ilustración 14: “CONSUMO DE DIESEL (LT/M3) POR CRITERIO DE ASIGNACIÓN DE COMPRA”	44
Ilustración 15: “CONSUMO DE DIESEL PROMEDIO (LT/M3) POR RANGO DE KILÓMETROS”	44
Ilustración 16: “DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE ASERRADO MATERIA PRIMA”	46
Ilustración 17: “VOLÚMEN DE PRODUCCIÓN POR ASERRADERO ESTUDIADO (m3)”	48
Ilustración 18: “CONSUMO DE ELECTRICIDAD PROCESO DE ASERRADO POR ASERRADERO (KWh/año)” .	49
Ilustración 19: “EXTRAPOLACIÓN CONSUMO DE ELECTRICIDAD PROCESO DE ASERRADO FORACTION CHILI”	50
Ilustración 20: “CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m3) POR ASERRADERO ESTUDIADO”	51
Ilustración 21: “ASIGNACIÓN MÁSCICA DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PROCESO DE ASERRADO DE FORACTION CHILI S.A”	52
Ilustración 22: “NÚMERO DE PROVEEDORES DE MATERIA PRIMA POR REGIÓN Y VOLÚMEN DE PRODUCCIÓN”	53
Ilustración 23: “NÚMERO DE ASERRADEROS EN PROVINCIAS DEL BIOBÍO DE ACUERDO A VOLUMENES DE PRODUCCIÓN”	54
Ilustración 24: “PRINCIPALES CIUDADES CERCANAS A CURANILAHUE”	55
Ilustración 25: “DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE SECADO FORACTION CHILI S.A”	56
Ilustración 26: “DIAGRAMA DE FLUJOS PROCESO DE REMANUFACTURA FORACTION CHILI S.A”	59
Ilustración 27: “BALANCE DE MASA PROCESO DE REMANUFACTURA FORACTION CHILI S.A”	61
Ilustración 28: “VALIDACIÓN DE PRODUCCIÓN FORACTION CHILI S.A”	65
Ilustración 29: “SENSIBILIDAD DE ACUERDO A ASIGNACIÓN ELÉCTRICA”	68
Ilustración 30: Sensibilidad por peso y volumen de productos de caso de estudio	69



Ilustración 31: “EMISIONES DE GEI POR PRODUCTOS (kg CO ₂ eq/m ³)”	72
Ilustración 32: PROCESO PRODUCTIVO ASERRADERO CASO DE REFERENCIA	75
Ilustración 33: DISTRIBUCIÓN TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA POR RANGOS DE KILÓMETROS "CASO DE REFERENCIA"	77
Ilustración 34: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO DE SUBPRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO	86
Ilustración 35: CONSUMO ESPECÍFICO DE ELECTRICIDAD (KWh/m ³) PROCESO DE ASERRADO DE SUBPRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO	87
Ilustración 36: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO MANUFACTURA DE PRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO	91
Ilustración 37: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m ³) PROCESO MANUFACTURA DE PRODUCTOS POR CASO DE ESTUDIO	92
Ilustración 38: CONSUMO ENERGÉTICO (MJ/m ³) DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PROCESO DE ASERRÍO POR CASO DE ESTUDIO	94
Ilustración 39: EMISIONES DE CO ₂ eq DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE PROCESO DE ASERRÍO POR CASO DE ESTUDIO	95
Ilustración 40: CONSUMO ENERGÉTICO PROMEDIO (MJ/m ³) DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS PARA AMBOS CASOS	96
Ilustración 41: CONSUMO ESPECÍFICO PROMEDIO DE DIESEL (LT/M ³) POR RANGO DE KILOMETROS PARA CASO DE ESTUDIO	110
Ilustración 42: CONSUMO ESPECÍFICO DE DIÉSEL (LT/M ³) PARA TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA DE CASOS DE ESTUDIO POR RANGO DE KILÓMETROS	111
Ilustración 43: CONSUMO ESPECÍFICO DE DIÉSEL (LT/M ³) PARA TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA POR CASOS DE ESTUDIO	111
Ilustración 44: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO POR SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"	112
Ilustración 45: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m ³) PROCESO DE ASERRADO POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"	112
Ilustración 46: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE ASERRADO POR CASO DE ESTUDIO .	113
Ilustración 47: CONSUMO DE BIOMASA (M ³ /AÑO) PROCESO DE SECADO POR CASO DE ESTUDIO	113
Ilustración 48: PODER CALORÍFICO INFERIOR (MJ/kg) POR CASO DE ESTUDIO	114
Ilustración 49: CONSUMO DE BIOMASA (MJ/m ³) PROCESO DE SECADO POR CASO DE ESTUDIO	114
Ilustración 50: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL DE PROCESOS (KWh) POR CASO DE ESTUDIO	115
Ilustración 51: CONSUMO DE DIESEL ANUAL DE PROCESOS (LT) POR CASO DE ESTUDIO	115
Ilustración 52: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO PRODUCTIVO ASERRADERO CASO DE REFERENCIA	116
Ilustración 53: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO CASO DE REFERENCIA	116
Ilustración 54: CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO (KWh/m ³) POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO CASO DE REFERENCIA	117
Ilustración 55: CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL (KWh) PROCESO DE MANUFACTURA POR CASO DE ESTUDIO	118



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: "DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES - FORACTION (KM)"	39
Tabla 2: "CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-400 KM"	40
Tabla 3: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-100 KM	42
Tabla 4: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-100 KM	42
Tabla 5:"CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO PROCESO DE ASERRADO FORACTION CHILI S.A"	52
Tabla 6: "DISTANCIA DESDE FORACTION HASTA PRICIPALES CIUDADES CERCANAS A CURANILAHUE"	55
Tabla 7: "DISTANCIA MEDIA FORACTION A VERTEDERO DE CURANILAHUE"	58
Tabla 8: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PRODUCTOS DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A" 62	
Tabla 9: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO DE ASERRADERO FORACTION CHILI S.A"	65
Tabla 10: "CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PROCESOS DE ASERRADO Y SECADO EN ASERRADEROS DE PAÍSES MIEMBROS DE LA OCDE PARA EL AÑO 1983"	66
Tabla 11:"CONSUMO ENERGÉTICO ESPECÍFICO DE PROCESOS DE ASERRADO Y SECADO EN ESTUDIOS DEL CORRIM"	67
Tabla 12: "EMISIONES DE CO ₂ DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS COMERCIALIZADOS POR FORACTION CHILI S.A"	70
Tabla 13: "COMPARACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO ESPECÍFICO Y EMISIONES DE CO ₂ EN PROCESOS DE ASERRADO"	73
Tabla 14: CUADRO COMPARATIVO INVENTARIOS DE CICLOS DE VIDA	74
Tabla 15: RESUMEN ENERGÍA CONTENIDA POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"	78
Tabla 16: RESUMEN EMISIONES DE CO ₂ eq POR PRODUCTO Y SUBPRODUCTO "CASO DE ESTUDIO"	80
Tabla 17: PRODUCCIÓN (M3) Y CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL (KWh) PROYECTOS DEL SEIA ESTUDIADOS	84
Tabla 18: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-200 KM	107
Tabla 19: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-200 KM	107
Tabla 20: DISTANCIA MEDIA PROVEEDORES FORACTION PARA RANGO 0-300 KM	108
Tabla 21: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A LA ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-300 KM	108
Tabla 22: CONSUMO DE DIÉSEL DE ACUERDO A ASIGNACIÓN DE COMPRA DE MATERIA PRIMA PARA RANGO 0-400 KM CASO DE ESTUDIO.....	109
Tabla 23: EQUIPOS UTILIZADOS EN MANUFACTURA CASO DE ESTUDIO	117