



**PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES  
MATERIALES DE EDIFICACIÓN

**AUTOR: RUIZ FRUTOS ANA**

**DIRECTOR: PERÉZ NAVARRO JULIÁN**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA E INGENERÍA DE EDIFICACIÓN**

**CARTAGENA, JULIO del 2012**

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.....	7
I.1 Circunstancias históricas .....	7
I.2 Agradecimientos.....	7
CAPÍTULO II.- ESTUDIO A REALIZAR .....	8
II.1 Introducción .....	8
II.2 Objetivos.....	8
II.3 Metodología utilizada.....	8
II.4 Resumen.....	8
CAPÍTULO III.- FUNDAMENTOS DE LOS MATERIALES RELACIONADOS CON EL ACV.....	10
III.1 Cerámica .....	10
III.2.1 Composición .....	10
III.2.2 Fabricación .....	10
III.2.3 Agua durante la fabricación .....	10
III.2 Barras de acero corrugado .....	11
III.2.1 Composición .....	11
III.2.2 Fabricación .....	11
III.2.3 Agua durante la fabricación .....	11
III.3 Perfiles de acero laminado.....	12
III.3.1 Composición .....	12
III.3.2 Fabricación .....	12
III.3.3 Agua durante la fabricación .....	12
III.4 Mortero M10.....	13
III.4.1 Composición.....	13
III.4.2 Fabricación .....	13
III.4.3 Agua durante la fabricación.....	13
III.5 Hormigón.....	14
III.5.1 Composición .....	14

III.5.2 Fabricación .....	14
III.5.3 Agua durante la fabricación .....	14
III.6 Lana de vidrio .....	15
III.6.1 Composición.....	15
III.6.2 Fabricación.....	15
III.6.3 Agua durante la fabricación.....	15
III.7 Madera laminada .....	16
III.7.1 Composición.....	16
III.7.2 Fabricación.....	16
III.7.3 Agua durante la fabricación.....	16
III.8 Yeso laminado .....	17
III.8.1 Composición.....	17
III.8.2 Fabricación.....	17
III.8.3 Agua durante la fabricación.....	17
 CAPÍTULO IV.- METODOLOGÍA .....	 18
IV.1 Normativa de referencia .....	18
IV.2 Normativa ISO .....	18
IV.3 Estado del conocimiento ACV .....	19
IV.3.1 Origen y evolución .....	20
IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.....	20
IV.3.2.1 Fase de definición del objetivo y el alcance .....	20
IV.3.2.1.1 Objetivo del estudio .....	21
IV.3.2.1.2 Alcance del estudio .....	21
- Unidad funcional	
- Límites del sistema	
- Requisitos de la calidad de datos	
IV.3.2.2 Fase de Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) .....	21
IV.3.2.2.1 Recopilación de datos .....	21
IV.3.2.2.2 Cálculo de datos .....	21
IV.3.2.3 Fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) .....	21

IV.3.2.3.1 Elementos obligatorios de la EICV.....	21
- Categorías de impacto	
- Indicador de impacto y cálculo de resultados	
IV.3.2.4 Fase de interpretación del Ciclo de Vida .....	25
IV.3.2.4.1 Identificación de asuntos significativos.....	25
IV.3.2.4.2 Revisión crítica.....	25
CAPÍTULO V.- DESARROLLO DEL PROYECTO .....	26
V.1 Análisis del ciclo de vida de los materiales .....	26
V.1.1 Cerámica .....	26
V.1.1.1 Definición del objetivo y el alcance .....	26
V.1.1.2 Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	27
V.1.1.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	30
V.1.1.4 Interpretación de los resultados.....	31
V.1.2 Barras corrugadas .....	33
V.1.2.1 Definición del objetivo y el alcance .....	33
V.1.2.2 Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	34
V.1.2.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	37
V.1.2.4 Interpretación de los resultados.....	38
V.1.3 Perfiles de acero laminado .....	40
V.1.3.1 Definición del objetivo y el alcance .....	40
V.1.3.2 Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	41
V.1.3.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	44
V.1.3.4 Interpretación de los resultados.....	45
V.1.4 Mortero M10 .....	47
V.1.4.1 Definición del objetivo y el alcance .....	47
V.1.4.2 Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	48
V.1.4.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	51
V.1.4.4 Interpretación de los resultados.....	52
V.1.5 Hormigón .....	54
V.1.5.1 Definición del objetivo y el alcance .....	54

V.1.5.2	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	55
V.1.5.3	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	58
V.1.5.4	Interpretación de los resultados.....	59
V.1.6	Lana de vidrio.....	61
V.1.6.1	Definición del objetivo y el alcance .....	61
V.1.6.2	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	62
V.1.6.3	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	65
V.1.6.4	Interpretación de los resultados.....	67
V.1.7	Madera laminada .....	69
V.1.7.1	Definición del objetivo y el alcance .....	69
V.1.7.2	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	70
V.1.7.3	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	73
V.1.7.4	Interpretación de los resultados.....	75
V.1.8	Yeso laminado.....	77
V.1.8.1	Definición del objetivo y el alcance .....	77
V.1.8.2	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	78
V.1.8.3	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida .....	81
V.1.8.4	Interpretación de los resultados.....	82
V.2	Fichas ambientales.....	83
V.2.1	Ficha ambiental de la cerámica. ....	83
V.2.2	Ficha ambiental de las barras corrugadas .....	83
V.2.3	Ficha ambiental de los perfiles laminados.....	84
V.2.4	Ficha ambiental del mortero M10 .....	84
V.2.5	Ficha ambiental del hormigón .....	85
V.2.6	Ficha ambiental de la lana de vidrio .....	85
V.2.7	Ficha ambiental de la madera laminado.....	86
V.2.8	Ficha ambiental del yeso laminado .....	86
V.3	Comparativa de parámetros .....	87
V.3.1	Comparativa de todos los materiales .....	87
V.3.1.1	Ficha ambiental según emisiones de CO <sub>2</sub> .....	87
V.3.1.2	Ficha ambiental según energía consumida .....	87

V.3.1.3 Ficha ambiental según cantidad de agua necesaria .....	88
V.3.1.4 Ficha ambiental según litros de gasoil consumidos .....	88
V.3.1.5 Ficha ambiental según metros cuadrados de bosque .....	89
V.3.1.6 Ficha ambiental según días de consumo de una bombilla .....	89
V.3.1.7 Ficha ambiental según horas de consumo de una vivienda .....	90
V.3.2 Comparativa de materiales estructurales.....	91
V.3.2.1 Comparativa de materiales estructurales según emisiones de CO <sub>2</sub> .....	91
V.3.2.2 Comparativa de materiales estructurales según energía consumida .....	91
V.3.3 Comparativa de materiales divisorios .....	92
V.3.3.1 Comparativa de materiales divisorios según emisiones de CO <sub>2</sub> .....	92
V.3.3.2 Comparativa de materiales divisorios según energía consumida .....	92
CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES.....	93
GLOSARIO .....	95
ACRÓNIMOS.....	96
ÍNDICE DE ESQUEMAS.....	97
ÍNDICE DE FIGURAS .....	97
ÍNDICE DE TABLAS .....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS .....	101
Anexo I Fundamentos de los materiales relacionados con su ACV.....	101
A.I.1 Cerámica .....	101
A.I.2 Barras de acero corrugado.....	103
A.1.3 Perfiles de acero laminado .....	107
A.1.4 Mortero M10 .....	111
A.1.5 Hormigón .....	114
A.1.6 Lana de vidrio.....	117
A.1.7 Madera laminada.....	120

A.1.8 Yeso laminado.....	123
Anexo II Equivalencias.....	126
Anexo III Normativa ISO 14040 y 14044 .....	127

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### I.1 CIRCUNSTANCIAS HISTÓRICAS

En estos últimos años se ha venido hablando sobre el impacto causado por la construcción sobre el medio ambiente. Este hecho es indudable. El impacto ambiental producido por la industria de la Construcción a la luz de la Revolución Industrial constituye la deuda aún pendiente que han de afrontar las sociedades industrializadas con vistas a este nuevo milenio.

Uno de los inconvenientes es que ha aumentado la distancia entre la obtención de materias primas y la ubicación de su elaboración o construcción; otro motivo, el agotamiento de los recursos naturales próximos; y finalmente, en el aumento de la emisión de contaminantes derivados de la industria de la Construcción.

La construcción es uno de los sectores que más contaminación produce. La sostenibilidad en este sector es un tema poco tratado en la carrera y por esta razón me he inclinado a elegirlo para mi Proyecto Final de Carrera.

### I.2 AGRADECIMIENTOS

Agradezco y dedico este proyecto final de carrera a mis padres, por su comprensión, motivación, y por el apoyo que me han brindado para lograr todas y cada una de mis metas.

A mi hermana, porque así como mis padres siempre ha estado a mi lado, ayudándome y animándome.

A todos mis amigos y compañeros por compartir tantos momentos especiales que han pasado a lo largo de mi vida.

A la Escuela de Arquitectura e Ingeniería de la Edificación por formarme y enseñarme todo lo que se.

Agradezco muy especialmente este trabajo al profesor Julián Pérez Navarro por su confianza, ayuda e interés con este proyecto.



## CAPÍTULO II ESTUDIO A REALIZAR

### II.1 INTRODUCCIÓN

Una de las herramientas que se está poniendo en práctica para cuantificar el efecto de la construcción sobre el medio ambiente es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Esta herramienta permite un estudio detallado de los materiales empleados, a fin de poder evaluar los impactos causados durante las diferentes etapas de su existencia.

Este proyecto pretende profundizar en estos efectos medioambientales, no de forma únicamente teórica sino también de forma práctica.

### II.2 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto final de carrera es poder valorar el impacto medioambiental de diferentes materiales de construcción mediante una serie de parámetros como son las emisiones de CO<sub>2</sub>, coste energético, consumo de materias primas y de combustible, todos ellos calculados científicamente. Dichos parámetros permitirán la elaboración de unas fichas ambientales donde será posible una visualización de los resultados obtenidos.

### II.3 METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada en este proyecto esta extraída íntegramente de las normas ISO 14040 e ISO 14044. En ellas se describen los procedimientos y pasos a seguir en la confección del Análisis del Ciclo de Vida.

### II.4 RESUMEN

En el presente proyecto se pretende cuantificar los impactos medioambientales de algunos de los materiales más utilizados en la construcción.

Se ha optado por una de las herramientas existentes en la actualidad para este fin, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Está regulado por las normas ISO 14040 y la ISO 14044. Para el estudio del material se ha procedido a dividir su vida en cinco etapas:

Etapas 1.- Fabricación, donde se incluye la extracción de materias primas y el proceso de fabricación.

Etapas 2.- Expedición del material hasta el punto de consumo.

Etapas 3.- Puesta en obra del material. En esta fase se analizan los recursos utilizados en el proceso de construcción.

Etapas 4.- Vida útil, se estudian los recursos utilizados en la vida efectiva del material.

Etapas 5.- Demolición y reciclado.

En todas las etapas mencionadas anteriormente se han cuantificado una serie de parámetros importantes desde el punto de vista medioambiental:

- Emisiones de dióxido de carbono

- Energía consumida en los procesos significativos
- Consumo de agua necesaria

La normativa ISO, utilizada en este trabajo, propone posterior al cálculo, una Evaluación del Impacto (EICV). El fin es convertir los datos obtenidos en unos resultados interpretables, siendo necesaria para ello la elección de unas categorías concretas. En este caso las categorías utilizadas son las siguientes:

- El efecto invernadero
- La toxicidad
- El agotamiento de recursos naturales
- La energía consumida
- La generación de residuos sólidos y líquidos

Una vez analizados los resultados de los apartados anteriores se procederá a la elaboración de unas fichas medioambientales para hacer visible la comparación del ACV de cada material, además de una comparación entre materiales en función de dichos resultados.

Para finalizar el trabajo se añade un capítulo de conclusiones.



Imagen 2.4: Ciclo de vida de un material.

## CAPÍTULO III MATERIALES

### III.1 CERÁMICA

#### III.1.1 Composición

El componente principal para la elaboración del ladrillo es la arcilla. Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedente de la descomposición de minerales de aluminio.

#### III.1.2 Fabricación

El proceso de fabricación industrial de los materiales cerámicos ha evolucionado notablemente en los últimos años.

El proceso contempla las siguientes etapas:

1. Extracción de arcillas.
2. Transporte a fábrica.
3. Molienda.
4. Amasado.
5. Moldeo.
6. Cortar y apilar.
7. Secado.
8. Cocción.
9. Empaquetado.
10. Expedición.

#### III.1.3 Agua durante la fabricación

El consumo de agua es mínimo en el proceso de fabricación gracias a las instalaciones modernas que se utilizan. Estas tienen unos circuitos cerrados que recuperan el agua, la filtran y la reciclan. En el momento del moldeo, la cerámica contiene la mayor cantidad de agua y se sitúa entre un 15-20% del peso de la materia. Si tenemos una tonelada de materia el agua de moldeo corresponde a 200 kg. Esta cantidad de agua se evapora de la pieza en el momento de la cocción, donde se recupera el vapor de agua y se recicla para otros procesos.

## III.2 BARRAS DE ACERO CORRUGADO

### III.2.1 Composición

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

-El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno alto (proceso integral).

-La chatarra (proceso no integral), atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Chatarra reciclada
- Chatarra de transformación
- Chatarra de recuperación

### III.2.2 Fabricación

El proceso de fabricación lo define el tipo de materia prima utilizada. En líneas generales, los dos procesos para la fabricación del acero son, el integral y el no integral. En el primero se desarrolla el proceso completo, es decir, se parte directamente de los minerales, según se extraen de la naturaleza, vía horno alto, mientras que el segundo proceso, vía horno eléctrico, la materia prima consiste en diversas chatarras.

La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000°C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

El proceso de fabricación se divide básicamente en dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

1. Fase de fusión
2. Fase de afino
3. La colada continua
4. La laminación

Las barras ya laminadas se depositan en una gran placa o lecho de enfriamiento, de donde es trasladado a las líneas de corte a medida y empaquetado, de donde pasa a la zona de almacenamiento y expedición.

### III.2.3 Agua durante la fabricación

Existe una publicación editada en 2008 con el nombre de “Los Tesoros del Agua”, en la que se expone que, para la fabricación de una tonelada de acero son necesarios 95000 litros de agua. Si bien es cierto que esta cantidad es consumida principalmente en la refrigeración del horno eléctrico y para la pieza en la colada continua.

### III.3 PERFILES DE ACERO LAMINADO

#### III.3.1 Composición

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

-El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno alto (proceso integral).

-La chatarra (proceso no integral), atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Chatarra reciclada
- Chatarra de transformación
- Chatarra de recuperación

#### III.2.2 Fabricación

El proceso de fabricación lo define el tipo de materia prima utilizada. En líneas generales, los dos procesos para la fabricación del acero son, el integral y el no integral. En el primero se desarrolla el proceso completo, es decir, se parte directamente de los minerales, según se extraen de la naturaleza, vía horno alto, mientras que el segundo proceso, vía horno eléctrico, la materia prima consiste en diversas chatarras.

La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000 °C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

El proceso de fabricación se divide básicamente en dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

1. Fase de fusión
2. Fase de afino
3. La colada continua
4. La laminación

Las barras ya laminadas se depositan en una gran placa o lecho de enfriamiento, de donde es trasladado a las líneas de corte a medida y empaquetado, de donde pasa a la zona de almacenamiento y expedición.

#### III.2.3 Agua durante la fabricación

Existe una publicación editada en 2008 con el nombre de “Los Tesoros del Agua”, en la que se expone que, para la fabricación de una tonelada de acero son necesarios 95000 litros de agua. Si bien es cierto que esta cantidad es consumida principalmente en la refrigeración del horno eléctrico y para la pieza en la colada continua.

## III.4 MORTERO M10

### III.4.1 Composición

El mortero M10 se compone básicamente de:

- Cemento Pórtland
- Arena
- Agua

Su resistencia es de  $10 \text{ N/mm}^2$  y se utiliza en fábricas de ladrillo no sometidas a cargas estructurales y revocos.

### III.4.2 Fabricación

El proceso de fabricación del mortero consiste en la mezcla de todos sus componentes, en las diferentes etapas que se muestran a continuación:

- Obtención y preparación de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento.

### III.4.3 Agua durante la fabricación

El mortero, compuesto formado por cemento y arena, necesita para la fabricación del primero 30.000 litros de agua por tonelada de producto <sup>[33]</sup>. En cuanto al segundo serán necesarios entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada de arena para su lavado, con el fin de eliminar los finos <sup>[13]</sup>. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

## III.5 HORMIGÓN

### III.5.1 Composición

El hormigón se compone básicamente de:

- Cemento Pórtland
- Áridos: arena y grava
- Agua

### III.5.2 Fabricación

El proceso de fabricación del mortero consiste en la mezcla de todos sus componentes, en las diferentes etapas que se muestran a continuación:

- Obtención y preparación de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento.
- Fabricación del hormigón.

### III.5.3 Agua durante la fabricación

El mortero, compuesto formado por cemento y arena, necesita para la fabricación del primero 30.000 litros de agua por tonelada de <sup>[24]</sup>. En cuanto al segundo serán necesarios entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada de arena para su lavado, con el fin de eliminar los finos <sup>[13]</sup>. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

## III.6 LANA DE VIDRIO

### III.6.1 Composición

Los componentes principales para la fabricación del vidrio son:

	Porcentajes
- Vidrio reciclado	
- Arena	65-80%
- Carbonato sódico	25-35%
- Caliza	25-35%
- Componentes secundarios	25-35%

### III.6.2 Fabricación

El proceso de fabricación del vidrio es básicamente el mismo para todos los subsectores: preparación de las materias primas, fusión, conformado, tratamientos posteriores y, por último, almacenamiento y expedición de los productos finales.

La elaboración del vidrio es un proceso complejo que comienza con la recepción de la materias primas, su dosificación, mezclado y homogenización. Termina con la salida del producto frío a la desembocadura del túnel o del archa de recocio. El proceso de elaboración de las lanas minerales, en nuestro caso de la lana de vidrio, puede considerarse dividido en seis etapas más o menos diferenciadas:

- Reacción de los componentes y formación de vidrio.
- Disolución del exedente de sílice sin reaccionar
- Afinado (homogenización de la masa vítrea fundida y eliminación de los gases disueltos y burbujas ocluidas)
- Reposo y acondicionamiento térmico
- Conformado
- Secado o polimerizado

### III.6.3 Agua durante la fabricación

Una de las principales actividades consumidoras de agua en la fabricación de la lana de vidrio es la refrigeración de los equipos. Estos sistemas suelen funcionar en circuitos cerrados donde se repone únicamente las fugas y las pérdidas por evaporación. Los procesos de fibrado, polimerización y algunos otros, también son consumidores de agua. También se utiliza el agua para el lavado de materias primas, entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada, con el fin de eliminar los finos <sup>[13]</sup>. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

El consumo global de agua para la fabricación de lanas minerales es de 25-125 m<sup>3</sup>/día <sup>[31]</sup>.



## III.7 MADERA

### III.7.1 Composición

La madera está formada por fibras de celulosa, sustancia que constituye el esqueleto de los vegetales, y por lignina, sustancia que le proporciona rigidez y dureza. Un tronco de árbol está formado por un 60 % de celulosa, un 30 % de lignina y el resto, por agua, resinas, almidón, taninos y azúcares.

### III.7.2 Procesado

Etapas del procesa de la madera:

- Etapa de acopio de trozas (madera en rollo)
- Etapa de aserrado de la madera.
  - Descortezado de la madera
  - Aserrado principal
  - Sierra partidora (reaserradora)
  - Sierra canteadora
  - Sierra despuntadora
- Etapa de baño anti-manchas, secado y almacenamiento.
  - Baño antimanchas
  - Clasificación de madera
  - Secado de la madera
  - Almacenamiento del producto terminado

Una vez seca, la madera se almacena en el parque de salida, en donde puede estar al aire libre, bajo techo o en una instalación cerrada. En el parque de salida se organiza la madera por dimensiones, en pilas, en función de sus características o de sus destinos, según el sistema de venta y de transporte de cada empresa.

### III.7.3 Agua durante la fabricación

En los aserraderos el agua tiene dos usos: primero, se emplea para el riego de calles y zona de acopio de madera (cuando son de tierra) para evitar que se levante el polvo y, segundo, como disolvente de los productos químicos del baño antimanchas. En ninguno de los casos recibe tratamiento y no es necesario que cumpla con requisitos de calidad. No obstante, sí es necesario que presente condiciones de baja dureza para proteger el equipo.

## III.8 YESO LAMINADO

### III.2.1 Composición

Llamamos yeso de construcción al producto pulverulento procedente de la cocción de la piedra de yeso o aljez, que una vez mezclado con agua, en determinadas proporciones, es capaz de fraguar en el aire.

Materia prima principal:

- Aljez o piedra de yeso: constituido principalmente por sulfato de calcio con dos moléculas de agua.

### III.2.2 Fabricación

Estas son las fases para la obtención del yeso laminado:

- Trituración del yeso
- Molienda
- Calcinación
- Línea de producción de placas
- Almacén, carga y logística

### III.2.3 Agua durante la fabricación

El agua es utilizada en la fabricación pero ser mezclado con el yeso en polvo. Junto con el agua también se añaden el resto de materias primas y aditivos para constituir con ello el alma de la placa de yeso. Para este trabajo se ha escogido una relación 0,8, es decir, por cada kilogramos de yeso se añaden 0,8 de agua <sup>[12]</sup>.

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### IV.1 NORMATIVA DE REFERENCIA

La normativa que se ha utilizado como referencia en este trabajo ha sido la serie ISO 14001 y la serie ISO 14040. La prima de ellas como base en materia medioambiental, y la segunda para el estudio del Análisis del Ciclo de Vida de manera más específica.

Para consultas más técnicas, se ha consultado normas como, EHE 2008, RC-08, CTE-DB-SE Fábrica, CTE-DB-SE Acero, UNE-EN 13139:2003.

Y por último para el cálculo de las emisiones se ha utilizado unas guías elaboradas por la Junta de Andalucía basadas en el registro E-PRTR (European Pollutants Release and transfer Register/Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes)

### IV.2 NORMATIVA ISO

La serie de normas ISO 14001 se encarga de regular aspectos medioambientales. De esta norma se derivan otras, las cuales tratan diferentes aspectos del medioambiente.

- Sistemas de Gestión Ambiental

ISO 14001:2004 Requisitos con orientación para su uso.

ISO 14004:2004 Directrices generales sobre principios, sistemas y técnica de apoyo.

- Auditorías Ambientales

ISO 19011:2002 Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y/o ambiental.

- Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales

ISO 14020:2002 Principios generales.

ISO 14021:2001 Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II).

ISO 14024:2001 Etiquetado ecológico Tipo I. Principios generales y procedimientos.

ISO 14025: 2007 Declaraciones ambientales Tipo III. Principios y procedimientos.

- Evaluación del desempeño ambiental

ISO 14031:2000 Evaluación del comportamiento medioambiental. Directrices generales.

La serie de normas ISO 14040 son una familia de normas en las que se especifica los pasos a seguir para la realización de un Análisis del Ciclo de Vida de los materiales. Su objetivo es llegar a evaluar el impacto ambiental que estos provocan mediante el estudio de unos parámetros

en cada una de las etapas elegidas. Para ello deben seguirse los pasos marcados en las últimas dos normas mencionadas anteriormente

- Análisis del ciclo de vida

ISO 14040:2006 Principios y marco de referencia. Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-EN ISO 14040:1998, UNE-EN ISO 14041:1999, UNE-EN ISO 14042:2001 y UNE-EN ISO 14043:2001.

ISO 14044:2006 Requisitos y directrices. Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-EN ISO 14040:1998, UNE-EN ISO 14041:1999, UNE-EN ISO 14042:2001 y UNE-EN ISO 14043:2001.

### IV.3 ACV. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar los posibles impactos ambientales de un proceso o producto, desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final. Esto implica identificar y evaluar los impactos ambientales potenciales, como la energía consumida, los recursos utilizados y las consecuencias ambientales de las emisiones, en cada etapa del ciclo de vida de un producto y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

El ACV se centra principalmente en los impactos ambientales relacionados con los sistemas ecológicos, la salud humana y el agotamiento de los recursos. Generalmente no se consideran los asuntos económicos o sociales de un producto.

El ACV tiene varios objetivos según dependiendo del área de aplicación:

- La identificación de procesos, ingredientes y sistemas que más contribuyen al impacto ambiental.
- La comparación de diferentes opciones para un proceso en particular con el objetivo de minimizar los impactos ambientales.
- Servir de guía en la planificaciones estratégicas a largo plazo relacionadas con las modas en el diseño de productos y en los materiales.
- Evaluación de los efectos sobre los recursos naturales asociados con determinados productos.
- Ayudar a introducir a los diseñadores de productos el uso de materiales de producción más respetuosos con el medioambiente y en la comparación ambiental de productos equivalentes.

El ACV es una herramienta que por su complejidad resulta en procesos que requieren tiempo y recursos materiales y humanos, muchas veces incompatibles con la capacidad actual de la industria de desarrollar este tipo de iniciativas.

La información relativa a los inventarios de impactos ambientales en el ACV requiere un elevado nivel de información sobre materiales y procesos, que puede no estar disponible para un amplio espectro de situaciones.

La aplicación del ACV en productos complejos, en los que los límites del sistema se extienden en una multiplicidad de actividades, puede resultar en grados de complejidad incompatibles

con evaluaciones fiables del Ciclo de Vida. Es este el caso de la construcción en el que la complejidad es evidente.

El ACV incide sobre una gran diversidad de variables que no poseen siempre el mismo sentido, es decir, puede darse el caso de que la mejor opción energética no sea la que genere menos residuos o emisiones.

#### IV.3.1 ORÍGEN Y EVOLUCIÓN DEL ACV

Los primeros estudios enfocados sobre algunas etapas del ciclo de vida de ciertos productos se remontan hacia fines de la década de los años 60 y principios de los 70. Esos estudios pusieron el énfasis en el análisis de la eficiencia, en el consumo de la energía y sus fuentes, el consumo de materias primas y, en menor medida, en la disposición final de los residuos generados.

En 1969 la Coca Cola estadounidense financió un estudio destinado a relacionar y comparar el consumo de recursos para fabricar los envases para sus bebidas con las emisiones asociadas a los procesos productivos correspondientes. Por la misma época, también en Europa se estaba estudiando una especie de inventario que más tarde se conoció como «Ecobalance». En 1972, en el Reino Unido, LAN BOUSTEAD se dedicó a calcular la energía total que se requería para la fabricación de diversos tipos de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) para bebidas. Sus conclusiones pueden consultarse en su artículo «LCA-How it came about-The beggining in the UK», publicado en International Journal of Life Cycle Assessment, 1 (3), 1996.

Al principio, se consideró que el consumo de energía tenía mayor prioridad respecto de la generación de residuos, las descargas y emisiones hacia el medio ambiente, entre otras cosas quizás porque todavía no había tantas demandas por parte de la opinión pública para que las empresas tuvieran en cuenta la prevención del deterioro ambiental, y porque el precio de los combustibles energéticos había subido tan abruptamente como para justificar darle esa prioridad.

Recuérdese además, que por esa época se produjo la crisis del petróleo, la que afectó principalmente a los países no productores, y que se manifestó por restricciones en la provisión de energía eléctrica, entre otras limitaciones al consumo de energía procedente de combustibles fósiles. Luego de superada esa crisis hubo un decaimiento en la importancia asignada al problema energético.

#### IV.3.2 PROCESO DE ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

Un informe ACV debe contener, al menos, cuatro fases:

- 1- Definición del objetivo y alcance, en esta fase se debe especificar los motivos y objetivos del estudio, así como, definir la unidad funcional y los límites del sistema. Será necesario establecer unos requisitos de calidad de los datos, que conceda validez y fiabilidad a estos. También se llevará a cabo una revisión crítica para verificar si el estudio de ACV ha cumplido los requisitos de la Norma Internacional (ISO) en cuanto metodología, obtención y presentación de datos.

1.1- Objetivo del estudio, donde se define los motivos, la aplicación y el público previstos así como, la previsión de utilizar los resultado con comparativas de varios productos.

1.2- Alcance del estudio, se definirán los puntos siguientes:

- Unidad funcional, será aquella en la cual irá referida todos los datos del sistema.
- Límites del sistema, definen los proceso unitarios a ser incluidos en el sistema, considerando a su vez varias etapas del ciclo de vid y flujos. Las etapas que se analizarán en este proyecto son:
  - Etapa 1: Fabricación. Obtención de materias primas y proceso de fabricación de los materiales.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte de los materiales hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados durante la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: Demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.

1.3- Requisitos de calidad de datos, se especificarán la antigüedad, la cobertura goeográfica y la tecnología de los datos presentes en el estudio.

2- Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV), consiste en una recopilación de datos de entradas y salidas pertinentes para cumplir los objetivos.

2.1-En primer lugar se llevará a cabo la recolección de datos necesarios para el posterior cálculo y se incluirá además, el árbol del ciclo vital, siendo éste sistema elegido.

2.2-Para finalizar se realizan los cálculos de emisiones de aire, agua y suelo en cada una de las etapas, reajustando los límites en caso de no cumplimiento.

3- Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV), su finalidad es convertir los resultados del ICV en resultados interpretables, gracias a unas categorías de impacto. Las categorías de impacto elegidas para ser estudiadas en cada material son: el efecto invernadero, el agotamiento de recursos narturales, la energía consumida, toxicidad y la generación de residuos.

- Efecto invernadero: El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del Sol. El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente del uso de combustibles fósiles ha provocado la intensificación del fenómeno y el consecuente aumento de la temperatura global, el derretimiento de los hielos polares y el aumento del nivel de los océanos. La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. En los últimos 100 años la Tierra ha registrado un aumento de entre 0,4 y 0,8°C en su temperatura promedio.

Los gases invernadero son:

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el más importante. Contribuye al efecto invernadero acentuado (artificial) y es el responsable de más del 60% del mismo. En los países industrializados, el  $\text{CO}_2$  representa más del 80% de las emisiones de gases invernadero. El  $\text{CO}_2$  puede permanecer en la atmósfera entre 50 y 200 años, en función de cómo se recicle en la tierra o en los océanos.

- Metano ( $\text{CH}_4$ ), es el segundo gas que más contribuye al efecto invernadero. Desde el principio de la Revolución Industrial, las concentraciones de metano en la atmósfera se han duplicado y han contribuido un 20% al incremento del efecto invernadero. En los países industrializados, el metano representa normalmente el 15% de las emisiones de los gases invernadero. En la atmósfera, el metano retiene el calor y es 23 veces más efectivo que el  $\text{CO}_2$ . Su ciclo de vida es, sin embargo, más breve, entre 10 y 15 años.

- Óxido nitroso, el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se libera de forma natural de los océanos y de las selvas tropicales gracias a las bacterias del suelo. Algunas de las fuentes influidas por el hombre son los abonos a base de nitrógeno, la quema de combustibles fósiles y la producción química industrial que utiliza nitrógeno, como el tratamiento de residuos. En los países industrializados, el  $\text{N}_2\text{O}$  representa aproximadamente el 6% de las emisiones de gases invernadero. Al igual que el  $\text{CO}_2$  y el metano, el óxido nitroso es un gas invernadero cuyas moléculas absorben el calor al tratar de escapar al espacio. Su tiempo de vida oscila entre 140-190 años.

- Gases fluorados, son los únicos gases de efecto invernadero que no se producen de forma natural, sino que han sido desarrollados por el hombre con fines industriales. Representan alrededor del 15% de las emisiones de gases invernadero en los países industrializados, pero son extremadamente potentes. Posiblemente los gases más conocidos de este grupo sean los clorofluorocarbonos (CFC). Su tiempo de vida oscila entre los 65-110 años.

- Ozono ( $\text{O}_3$ ) y otros, tiene como fuente emisora los fotoquímicos, automóviles, etc. Su tiempo de vida son horas o días y su contribución al calentamiento global es de un 8%.

- Agotamiento de recursos naturales: Los recursos naturales son todos los bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano. Además contribuyen al bienestar y el desarrollo de manera directa o indirecta.

En el ACV se mide el efecto del consumo de los recursos respecto a su agotamiento, escasez y el horizonte temporal en el que se cree que se agotaran. Por lo que la relevancia ambiental del consumo de un recurso es inversamente proporcional a su abundancia y, directamente proporcional al ritmo de explotación.

Hay recursos naturales renovables y recursos naturales no renovables o energías no renovables. Los primeros son aquellos que se consideran que se renuevan lo suficientemente rápido como para no llegar a agotarse, mientras que los segundos se renuevan en ciclos naturales extremadamente lentos.

En la mayoría de etapas tratadas en este trabajo existen dos energías no renovables, el petróleo y el gas natural.

A finales de 2009, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 181.700 millones de toneladas, equivalentes a 1,33 billones de barriles. En el mismo año se produjeron 3.820 millones de toneladas de petróleo, prácticamente la misma cantidad que en años anteriores <sup>[8]</sup>. Este dato nos permite hacernos una idea sobre la producción de barriles de petróleo es de gran importancia en tanto en cuanto permite averiguar la duración de las reservas mundiales si no se efectuasen nuevos descubrimientos. De esta forma, si la producción de petróleo siguiera en el futuro al mismo ritmo que en 2009, las reservas mundiales –salvo que se encontrasen nuevos yacimientos– durarían 45,7 años.

El petróleo es desde finales del siglo XIX la fuente de energía más importante del mundo. La combustión de productos derivados de los combustibles fósiles, para la generación de energía y para usos más comunes (calefacción, automóvil, etc.) es una de las causas de contaminación atmosférica. Para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> se llevaron a cabo algunas soluciones como son, la implantación en las estaciones de servicio de surtidores, cuyo objetivo es, recuperar los vapores que libera el combustible (gasolina o gasóleo) cuando se reposta, con lo que se minimiza la emisión de los gases a la atmósfera y la retirada en 2002, por parte de las compañías petroleras, de la gasolina con plomo decidiendo ofrecer una sin plomo.

En enero de 2003 entró en vigor la reducción del azufre en los gasóleos y fuelóleos, de acuerdo con las directrices de la Unión Europea. Otras medidas adoptadas por las empresas de este sector son la utilización de tecnologías solares fotovoltaicas (para obtención de energía eléctrica) en muchos de sus proyectos y la instalación de sistemas en las refinerías que permiten la reutilización de residuos. Dichas empresas participan en organismos internacionales cuyo fin es la conservación del medio ambiente. Así mismo, colaboran en programas de mejora del medio ambiente tales como reforestaciones <sup>[8]</sup>.

En cuanto al gas natural las reservas mundiales a finales del 2006 ascendían a 181,46 trillones de metros cúbicos. A este ritmo las reservas se podrían agotar en 45 años <sup>[33]</sup>.

Otro recurso natural a tener en cuenta en nuestro estudio es el agua. Según un nuevo informe elaborado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), Europa debe redoblar esfuerzos para hacer un uso más eficiente del agua y evitar que su economía se vea afectada. El uso ineficaz del agua tiene efectos negativos en los recursos de los que dependen los ecosistemas y las personas, dos elementos esenciales para la productividad y la seguridad europeas. Alrededor de la quinta parte del agua va a la red de abastecimiento público, de la que más de una cuarta parte acaba en las cisternas de los inodoros. Las instalaciones hidroeléctricas modifican la estructura natural y el caudal de los ríos y lagos, afectando negativamente a los ecosistemas. El informe subraya que el uso ineficaz del agua conlleva, además, un aumento del consumo de energía, lo que genera costes ambientales y financieros añadidos. Así, mientras que la energía necesaria para bombear y potabilizar agua dulce está alrededor de 0,6 kWh/m<sup>3</sup>, para desalar agua marina son necesarios 4 kWh/m<sup>3</sup> de más. Varios países europeos utilizan tecnologías de desalación del agua, y, entre ellos despunta España que es uno de los mayores usuarios mundiales de esta tecnología.

Deberían definir objetivos ambientales claros para el aprovechamiento del agua teniendo en cuenta la sostenibilidad de los recursos. Estos objetivos variarían en función de los recursos disponibles, pero deben establecerse de forma que garanticen que el medio natural dispone de agua suficiente para funcionar. Se necesita una forma de «disociación» para que una



mayor productividad económica no conlleve un aumento del uso del agua y de los efectos negativos para el ambiente.

En la imagen inferior se puede observa cual es la explotación de agua en %. Aquellos países de color rojo son los que el porcentaje de explotación supera el 40%.

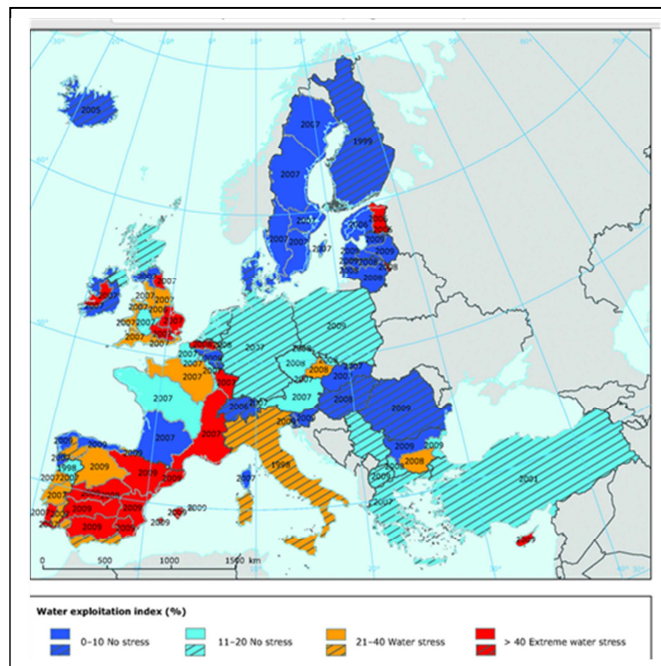


Imagen 3.2.2: Consumo de agua en Europa

- Energía consumida: consideraremos que la energía consumida, por un material, es la asociada a la vida útil de un material, en las etapas mencionadas anteriormente.

- Generación de residuos sólidos y líquidos: esta categoría tiene como finalidad contabilizar los residuos que generan las actividades involucradas en ciclo de vida de un material.

- Toxicidad: en los procesos industriales se utilizan sustancias peligrosas o tóxicas para las personas y/o para los ecosistemas. La toxicidad es una sustancia que varía según la vía de administración o exposición, la dosis o la manera de administrarse. Se distinguen dos tipos de exposición a la toxicidad, aguda y crónica. La primera de ellas las sustancias son emitidas en concentraciones muy bajas como para matar , y en la segunda su efecto se nota a largo plazo, debido a una exposición prolongada.

- Dentro de las categorías de impacto elegidas, sólo hay dos cuantificables numéricamente, el efecto invernadero y la energía consumida.

En este proyecto, para ponderar el impacto del efecto invernadero se utilizará un visual de comparación, es decir, la cantidad de hectáreas o metros cuadrados de bosque necesarios para contrarrestar el CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera.

Para ello, se utilizará los datos ofrecidos por el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Ecológicas (CREAF). En su página web se especifica que, una hectárea de bosque mediterráneo

capta o fija unos 5.000 kg de CO<sub>2</sub>, con una densidad de unos 1.000 árboles por hectárea, anualmente.

Para la segunda categoría se ha obtenido por comparar la energía consumida de cada material, durante su ciclo de vida, con dos factores, el primero será las días de consumo de una bombilla de bajo consumo de 18 W y, el segundo, correspondiente a las horas de consumo energético de una vivienda tipo con una potencia de 5,75 KW. La potencia total será de 5750 W.

#### 4- Interpretación del ciclo de vida

- Identificación de asuntos significativos, en este punto se deben determinar los asuntos más significativos de acuerdo con el objetivo y el alcance definidos.
- Revisión crítica, tiene como fin asegurar, que el método utilizado en el ACV es coherente y válido y, que los datos, interpretación e información son razonables y cumplen con los requisitos pedidos.

Dicha revisión se lleva a cabo por un agente externo/interno, independiente del ACV.

En este caso se ha realizado una revisión autocrítica mediante dos fuentes fiables españolas. Una de ellas en la base de datos Bedec del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (Itec) y la otra son unas guías elaboradas por la Junta de Andalucía para cuantificar las emisiones en los procesos de fabricación de la cerámica y el cemento.

## CAPÍTULO V DESARROLLO DEL PROYECTO

### V.1 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

#### **V.1.1 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA CERÁMICA**

##### 1.1- OBJETIVO Y ALCANCE

###### 1.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida de la cerámica son más contaminantes para el medio ambiente.

###### 1.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de pieza cerámica, limitando su vida útil 50 años.
- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:
  - Etapa 1: Fabricación. El proceso de cocción del material se llevará a cabo en un horno Hoffman de gas natural.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.
- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europa y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 1.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 1.2.1- Recopilación de datos

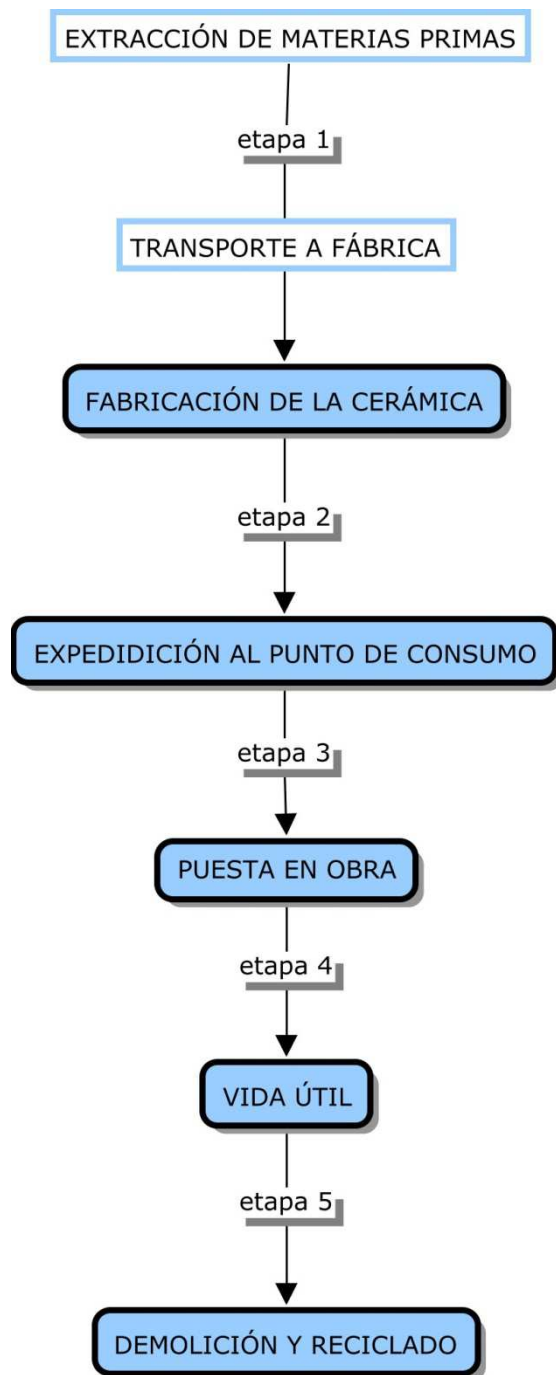


Figura 5.1.1: Árbol del ciclo de vida de la cerámica.

## 1.2.2- Cálculo de datos

### **Etapa 1 Fabricación**

Dentro de esta etapa se encuentran las fases de extracción y fabricación.

- Extracción de materias primas, para 0,49 litros de gasóleo por cada 1,25 toneladas de producto <sup>[11]</sup>.

- Fabricación del producto, durante esta etapa la principal emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera es, durante el proceso de cocción, con 177,36 kg por tonelada de producto <sup>[27]</sup>.

En esta etapa también hay que reseñar el consumo de otro recurso natural, el agua. Su consumo fue analizado en el apartado III.1.3 (proceso de fabricación), estableciendo que para una tonelada de material serán necesarios 200 litros de agua.

### **Etapa 2 Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

### **Etapa 3 Puesta en obra.**

Para esta etapa únicamente se tendrá en cuenta para el cálculo la utilización del agua como material, para el uso del mortero (analizado en el apartado III.5.3). El agua para la humidificación será el 15% del total, si anteriormente se dijo que para una tonelada de material son necesarios 200 litros, para esta fase serán necesarios 30 litros.

Cada litro de agua tiene un coste energético de 0,006 MJ y una emisión de CO<sub>2</sub> de  $2,9 \cdot 10^{-4}$  <sup>[24]</sup>, por lo tanto serán necesarios 0,18 MJ y 0,0087 kg de CO<sub>2</sub>. El 5% del material se consideran mermas y son transportadas al vertedero. El coste energético del transporte es 3,65 MJ y su emisión de 0,95 kg de CO<sub>2</sub>. Para dicho transporte, con un camión de 5 toneladas, se ha invertido una hora.

### **Etapa 4 Vida útil.**

Se consideran nulas las emisiones y el coste energético durante la vida útil del material, establecida en la unidad funcional en 50 años.

### **Etapa 5 Demolición y reciclado.**

La realización de la demolición para el posterior reciclado de un edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. En la segunda, se separan los diferentes tipos de materiales y se transforman en escombros.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora<sup>[24]</sup>. En nuestro análisis será una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

	ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)
<b>CERÁMICA</b>	<b>ETAPA 1</b>					
	Extracción	1,25 tn	0,49 l Gasoil	-	4,27 MJ	1,30 kg
	Fabricación	-	82,49 m <sup>3</sup> G.N.	200 l	3453,03 MJ	177,36 kg
	<b>ETAPA 2</b>					
	Expedición	-	5,84 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg
	<b>ETAPA 3</b>					
	Agua	-	-	30 l	0,18 MJ	0,0087 kg
	Transporte	-	0,34l Gasoil	-	3,65 MJ	0,95 kg
	<b>ETAPA 4</b>					
	Mantenimiento	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 5</b>					
	Retroexcavadora	-	42,73 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg
	Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg
	Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg
	<b>TOTAL</b>					
	-	-	230 l	4631,20 MJ	485,24 kg	

Tabla 5.1.1: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la cerámica.

### 1.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

#### 1.3.1- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub>, anualmente <sup>[15]</sup>.

Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida de la cerámica:

$$485,24 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,097 \text{ ha} = 970 \text{ m}^2$$

Se necesitan 970 m<sup>2</sup> de bosque y 97 árboles aproximadamente.

Toxicidad, en ninguna de las etapas estudiadas del ciclo de la cerámica se observa sustancias suficientemente tóxicas para personas y ecosistemas.

Agotamiento de recursos naturales, en el ciclo de vida de la cerámica nos encontramos cuatro recursos naturales, arcilla, petróleo, gas natural y agua.

La arcilla es el componente principal de la cerámica y un recurso no renovable a la vez. Su extensa presencia en la naturaleza hace que no sea un problema su agotamiento.

En cuanto al agua, su problemática ha sido tratada con anterioridad, al igual que el petróleo y el gas natural, en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.

Energía consumida, en el caso de la cerámica la energía consumida total es de 4631,20 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$4631,20 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 257,29 * 10^6 \text{ s} = 71469,44 \text{ horas} = 2977,89 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$4631,20 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 0,81 * 10^6 \text{ s} = 223,73 \text{ horas}$$

Generación de residuos sólidos y líquidos, sólo se estudiarán los residuos de las etapas 1, 3 y 5.

Etapas 1: Durante la fabricación por cada tonelada de producto se generan 250 kg de residuos <sup>[11]</sup>. Las aguas residuales del proceso se reutilizan durante la fabricación en una cantidad que oscila entre el 50% y el 100%, sabiendo que son necesarios 200 litros de agua.

Etapas 3: El 5% del material expedido es considerado merma, por lo que, por cada tonelada de producto 50 kg son residuos.

Etapas 5: En la demolición el 100% del producto se considera residuo.

En las etapas 2 y 4 se desestiman los residuos de cerámica.

## 1.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 1.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Según la tabla 5.1, las etapas donde el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> son mayores y por tanto más perjudiciales en las etapas 1 y 5, más concretamente en la fase de fabricación y destrucción del producto.

Etapas 1- Durante el proceso de fabricación el horno, utilizado, Hoffman, emite 50 kg de CO<sub>2</sub> más que un horno de carbón y 45 kg de CO<sub>2</sub> menos que un horno de serrín <sup>[19]</sup>. También se comparan otros factores de emisión, que no se han estudiado, como son, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>. Si comparamos los diferentes hornos con todos estos factores llegaríamos a la conclusión de que los hornos de gas natural y de serrín tienen unas emisiones parecidas e inferiores a las del horno de carbón.

Las medidas encaminadas a la reducción del consumo energético y emisiones asociadas al él, susceptibles de aplicación son, recuperación del aire caliente de la zona de enfriamiento del horno para utilizarlo en el secadero, optimización del aislamiento de los equipos de secado y cocción y de la circulación de aire en horno y secadero. Otra medida podría ser la mejora de aislamiento de conductos, utilización de aditivos que actúen como fundentes, provocando una reducción de la temperatura máxima de cocción.

Etapas 5- En esta etapa el consumo de energía depende del material utilizado, en cada una de sus fases, y al volumen del edificio.

Una medida correctora sería, tener en cuenta las emisiones y el consumo de la maquinaria utilizada, optando si fuera posible, por una tipología menos dañina.

### 1.4.2- Revisión crítica.

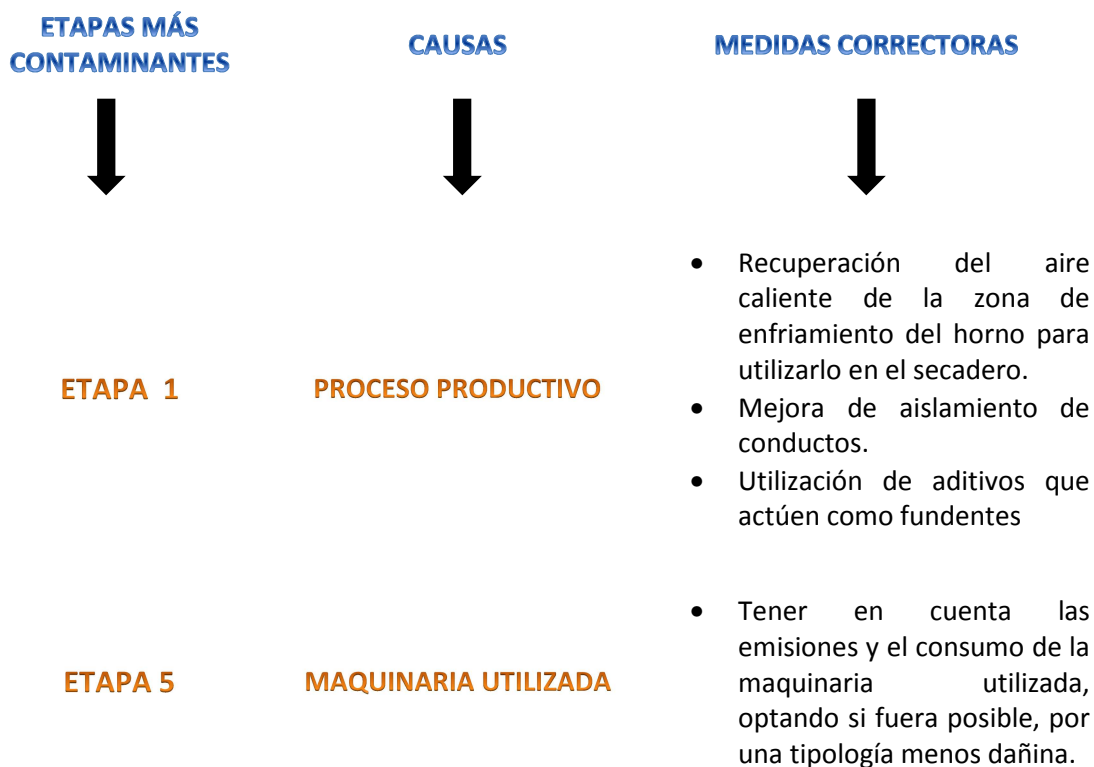
Las fuentes utilizadas para la obtención de datos son variadas. La información obtenida proviene de Aitemin para la extracción, de UIS-IDEAM, Laboratorio del Centro de Estudios e Investigadores Ambientales de la Universidad de Santander para la fabricación y el resto de datos se han obtenido de la base de datos de BEDEC del Itec.

Decir también que el dato de la Universidad de Santander se ha comparado con el ofrecido por la EPA. Según ésta última durante el proceso de fabricación, y sobre todo de cocción, la cerámica emite por tonelada de producto 200 kg de CO<sub>2</sub>.

La primera etapa ha sido realizada con los datos de Aitemin y UIS-IDEAM, cuyo resultado es 178,67 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de material y 3457,3 MJ. La base de datos del BEDEC afirma que, para esta misma etapa, existen unas emisiones de 211,10 kg CO<sub>2</sub> y un coste energético de 2766,60 MJ. Si comparamos datos, se observa que las emisiones de dióxido de carbono son parecidas pero, en cuanto al coste energético hay una gran diferencia.

En este documento se optado como valores más acertados los ofrecidos por Aitemin y UIS-IDEAM.





Esquema 5.1.1: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la cerámica.

## **V.1.2 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS BARRAS CORRUGADAS**

### 2.1- OBJETIVO Y ALCANCE

#### 2.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida de las barras corrugadas son más contaminantes para el medio ambiente.

#### 2.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de acero, limitando su vida útil 50 años.
- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:
  - Etapa 1: Fabricación. El proceso de fabricación de la chatarra, considerándola la materia prima, por su grado de implicación en el medio ambiente, en horno eléctrico.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.
- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europea y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 2.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 2.2.1- Recopilación de datos

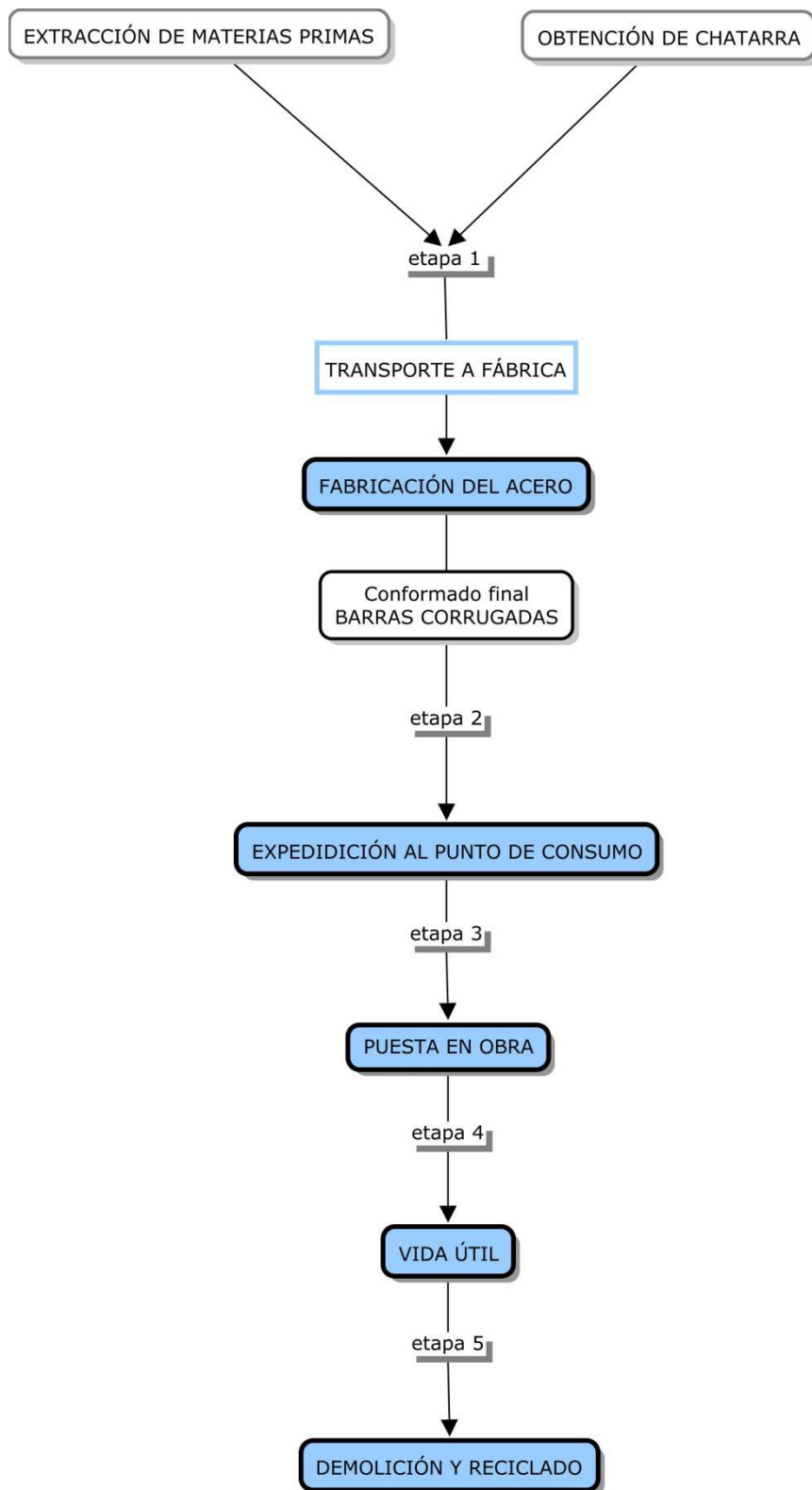


Figura 5.1.2: Árbol del ciclo de la vida de las barras corrugadas.

## 2.2.2- Cálculo de datos

### **Etapa 1- Fabricación**

Extracción de materias primas y su transporte a fábrica. En esta fase consideramos que la materia prima es la chatarra. Su obtención no requiere ningún coste o emisión.

Fabricación, durante este proceso se emiten 2,15 toneladas de CO<sub>2</sub> <sup>[4]</sup>. En esta etapa también hay que tener en cuenta el consumo de agua, estudiado en el proceso de fabricación.

### **Etapa 2- Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

### **Etapa 3- Puesta en obra**

En esta etapa no se van a considerar ni emisiones ni coste energético. Las armaduras pueden venir montadas de taller o ser montadas en la propia obra. En este último caso se considerarán un 2% de mermas en concepto de excesos de demanda o cambios. Para el transporte a la planta de residuos, se utilizará un camión de 5 toneladas, cuyo coste es de 365,17 MJ y sus emisiones son 95,38 kg de CO<sub>2</sub>.

Para nuestro cálculo, los parámetros son: 1 hora de trayecto. El resultado es: 73,03 MJ y 19,08 kg de CO<sub>2</sub>.

### **Etapa 4- Vida útil**

El material resultante tras la puesta en obra, es un conjunto formado por hormigón y acero, por lo que esta etapa se analizará junto con el hormigón.

### **Etapa 5- Demolición y reciclado**

Se analizarán conjuntamente hormigón y acero por el mismo motivo que la etapa anterior.

		ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)
<b>BARRAS CORRUGADAS</b>	<b>ETAPA 1</b>						
		Extracción	-	-	-	-	-
		Fabricación	-	1593,1 KWh	95.000 l	26689,66 MJ	2150 kg
	<b>ETAPA 2</b>						
		Expedición	-	5,84 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg
	<b>ETAPA 3</b>						
		Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg
	<b>ETAPA 4</b>						
		Mantenimiento	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 5</b>						
		Retroexcavadora	-	-	-	-	-
		Pala cargadora	-	-	-	-	-
		Transporte	-	-	-	-	-
	<b>TOTAL</b>						
		-	-	95000 l	26825,07 MJ	2185,37 kg	

Tabla 5.1.2: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de las barras corrugadas.

## 2.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

### 2.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[15]</sup>, anualmente. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida de las barras corrugadas:

$$2185,37 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,44 \text{ ha} = 4400 \text{ m}^2$$

Se necesitan 4400 m<sup>2</sup> de bosque y 440 árboles aproximadamente.

Toxicidad, en ninguna de las etapas estudiadas del ciclo de las barras corrugadas no se observa sustancias suficientemente tóxicas para personas y ecosistemas.

Agotamiento de recursos naturales, como sucedía en la cerámica, no se teme por el agotamiento de la materia prima fundamental, la chatarra. Los otros recursos naturales, el petróleo y el agua no corren la misma suerte. Su problemática está explicada en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.

Energía consumida, en el caso de las barras corrugadas la energía consumida total es de 5870,58 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$26825,07 \cdot 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 1490,28 \cdot 10^6 \text{ s} = 413.967,06 \text{ horas} = 17248,63 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$26825,07 \cdot 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 4,67 \cdot 10^6 \text{ s} = 1295,89 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapas 1- Un 10% de la chatarra utilizada durante la fabricación se corresponden con residuos.

Etapas 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapas 3- El 2% del producto se considera merma. Por lo tanto 20 kg de material son residuos.

Etapas 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapas 5- El 100% del material es residuo.

## 2.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 2.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.2, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1, en concreto la fase de fabricación.

Es la etapa 1 la energía utilizada es la eléctrica, muy difícil de sustituir.

Una solución para reducir su impacto de la energía eléctrica es, obtenerla a través de energías renovables.

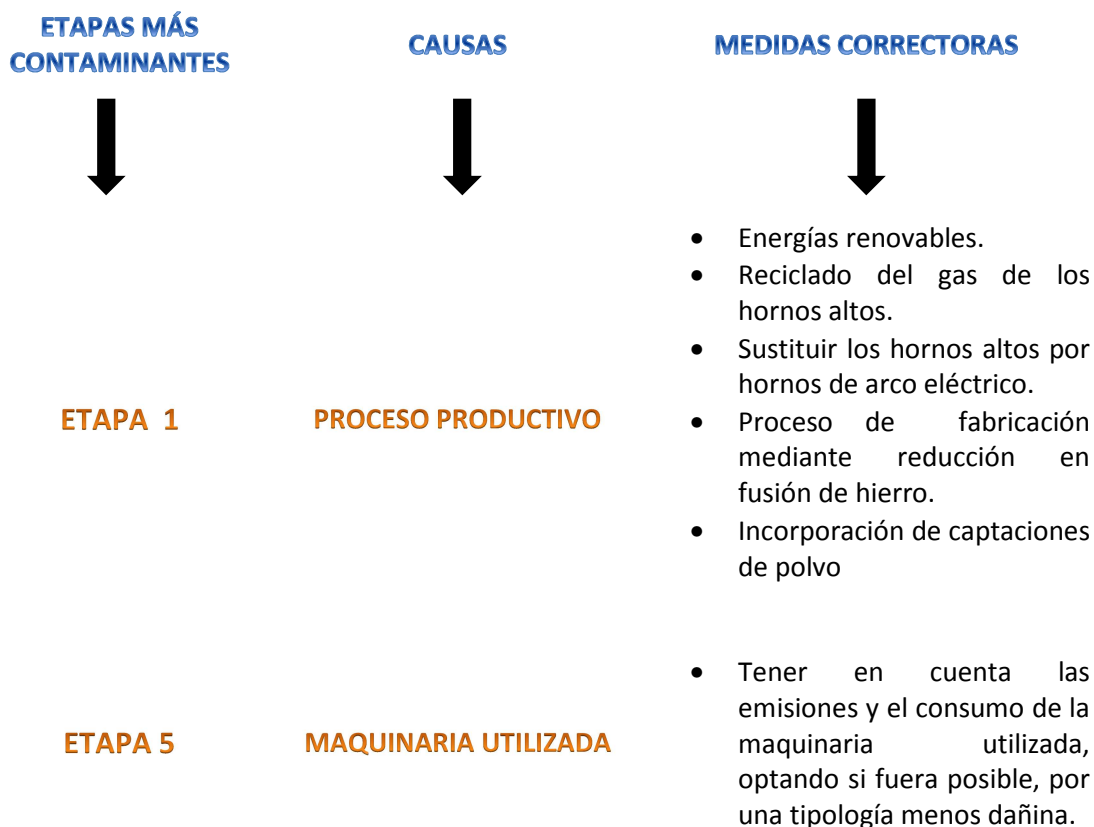
En cuanto a las emisiones, tal vez una de las medidas correctoras más viable se basa en el reciclado del gas de los hornos altos. Otra medida es la de ir sustituyen progresivamente los hornos altos por hornos de arco eléctrico, ya que, su contaminación es sensiblemente inferior. El reciclado del acero también es una alternativa para ahorrar emisiones de CO<sub>2</sub>. Y una medida que se ha impulsado en algunos países escandinavos es, un sistema de prerreducción de gas natural, es decir, un proceso de fabricación mediante reducción en fusión de hierro, que permite suprimir las actuales fases de coquización y sinterización en la producción.

Para la protección del medio ambiente sería necesario, la incorporación de captaciones de polvo mediante una depuración pro filtros de mangas. Además en la fabricación del acero se obtiene un subproducto conocido como escoria, que se comercializa en su totalidad, sobre todo para bases de carreteras. También el agua se utiliza en grandes cantidades, por ello es importante su reciclado en cantidades superiores al 90%, aunque por el momento sólo se cuenta con sistemas de tratamiento del agua servida para todos los procesos.

En la etapa 5 se produce también un consumo de energía importante, al igual, que emisiones. Una medida correctora sería, tener en cuenta las emisiones y el consumo de la maquinaria utilizada, optando si fuera posible, por una tipología menos dañina.

### 2.4.2- Revisión crítica

Las fuentes, fiables, para cuantificar las diferentes etapas del acero ha sido la base de datos BEDEC del Itec. Algunos de los datos sobre las emisiones del acero han sido obtenidos de Arcelor Mittal, empresa líder a nivel mundial en la fabricación del acero.



Esquema 5.1.2: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de las barras corrugadas.



### **V.1.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS PERFILES LAMINADOS**

#### 3.1- OBJETIVO Y ALCANCE

##### 3.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida de los perfiles laminados son más contaminantes para el medio ambiente.

##### 3.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de acero, limitando su vida útil 50 años.
- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:
  - Etapa 1: Fabricación. El proceso de fabricación de la chatarra, considerándola la materia prima, por su grado de implicación en el medio ambiente.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.
- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europea y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

### 3.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

#### 3.2.1- Recopilación de datos

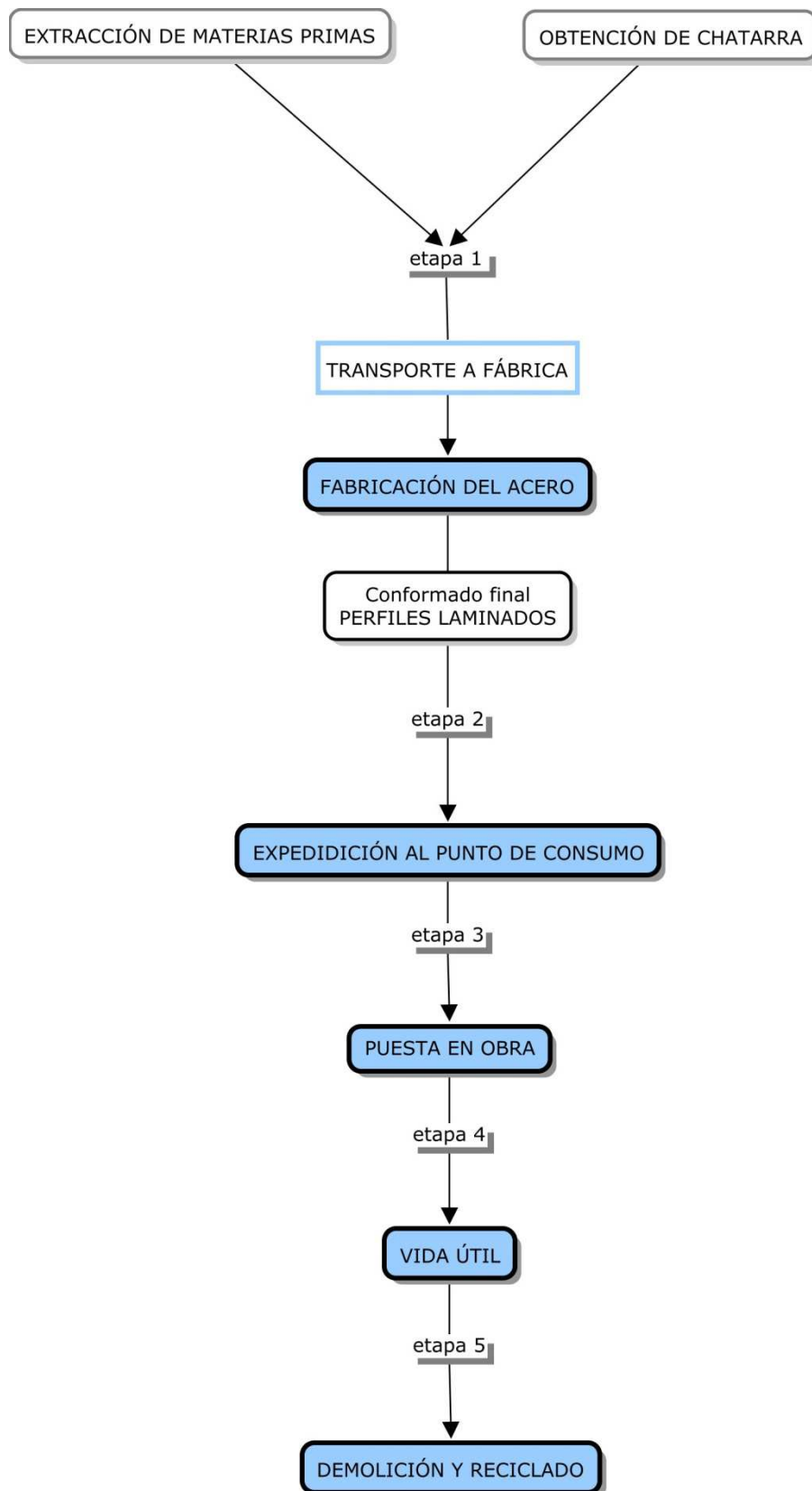


Figura 5.1.3: Árbol del ciclo de la vida de los perfiles laminados.

### 3.2.2- Cálculo de datos

#### **Etapa 1- Fabricación**

Extracción de materias primas y su transporte a fábrica. En esta fase consideramos que la materia prima es la chatarra. Su obtención no requiere ningún coste o emisión.

Fabricación, durante este proceso se emiten 4000 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[24]</sup>. En esta etapa también hay que tener en cuenta el consumo de agua, estudiado en el proceso de fabricación.

#### **Etapa 2- Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

#### **Etapa 3- Puesta en obra**

En esta etapa hay que tener en cuenta las horas, de la maquinaria necesaria, para la soldadura. Para soldar un kilogramo de acero laminado es necesario 0,017 horas <sup>[24]</sup>. La unidad funcional de este trabajo es una tonelada, por lo que, para soldar una tonelada de material, serán necesarias 17 horas. Para la tarea se opta por un equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica. Su consumo energético por hora es de 139,50 MJ y sus emisiones de 20,34 kg de CO<sub>2</sub> por hora.

Teniendo en cuenta que el trabajo descrito tarda 17 en realizarse el resultado final será de, 2371,5 MJ y 345,78 kg de CO<sub>2</sub>.

#### **Etapa 4- Vida útil**

En este caso se considera que los perfiles laminados irán revestidos por otro material, no siendo necesario ningún tipo de mantenimiento a lo largo de su vida útil, limitada a 50 años. El consumo de energía y las emisiones se consideran nulas en esta etapa.

#### **Etapa 5- Demolición y reciclado**

La realización de la demolición para el posterior reciclado del edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. En la segunda, se separan los diferentes tipos de materiales y se transforman en escombros.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora <sup>[21]</sup>. En nuestro análisis será una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

PERFILES LAMINADOS	ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)	
	<b>ETAPA 1</b>						
	Extracción	-	-	-	-	-	
	Fabricación	-	13793,1 KWh	95.000 l	49655,17 MJ	4000 kg	
	<b>ETAPA 2</b>						
	Expedición	-	5,84 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg	
	<b>ETAPA 3</b>						
	Soldadura eléctrica	-	123,94 l Gasoil	-	2371,5 MJ	345,78 kg	
	<b>ETAPA 4</b>						
	Mantenimiento	-	-	-	-	-	
<b>ETAPA 5</b>							
Retroexcavadora	-	42,74 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg		
Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg		
Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg		
<b>TOTAL</b>							
	-	-	95000 l	53196,74 MJ	4651,4 kg		

Tabla 5.1.3: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de los perfiles laminados.

### 3.3- EVALUCIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

#### 3.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[15]</sup>, anualmente. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida de los perfiles:

$$4651,4 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,93 \text{ ha} = 9300 \text{ m}^2$$

Se necesitan 9300 m<sup>2</sup> de bosque y 930 árboles aproximadamente.

Toxicidad, en ninguna de las etapas estudiadas del ciclo de las barras corrugadas no se observa sustancias suficientemente tóxicas para personas y ecosistemas.

Agotamiento de recursos naturales, como sucedía en la cerámica, no se teme por el agotamiento de la materia prima fundamental, la chatarra. Los otros recursos naturales, el petróleo y el agua no corren la misma suerte. Su problemática está explicada en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.

Energía consumida, en el caso de las barras corrugadas la energía consumida total es de 5870,58 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$53196,74 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 2955,37 * 10^6 \text{ s} = 820937,35 \text{ horas} = 34205,72 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$53196,74 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 9,25 * 10^6 \text{ s} = 2569,44 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapas 1- Un 10% de la chatarra utilizada durante la fabricación se corresponden con residuos. Se emplean grandes cantidades de agua en la fabricación de hierro y acero. Es necesario contar con sistemas de tratamiento de aguas servidas para todos los procesos de fabricación de hierro y acero, y se debe estudiar la forma de reciclar el agua servida y tratada. Debido al alto contenido de sólidos de las aguas negras que se emplean para lavar los gases, es necesario incluir amplias instalaciones de coagulación y asentamiento <sup>[2]</sup>.

Los solventes y ácidos que se utilizan para limpiar el acero son, potencialmente, peligrosos, y deben ser manejados, almacenados y eliminados como tal. Algunos de los subproductos que se recuperan son peligrosos o carcinogénicos, y se debe tomar las medidas adecuadas para recolectar, almacenar y despachar estos productos. Es necesario monitorear las fugas de líquidos y gases.

Etapas 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapas 3- El 2% del producto se considera merma. Por lo tanto 20 kg de material son residuos.

Etapas 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapas 5- El 100% del material es residuo.

### 3.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

#### 3.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.2, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1, en concreto la fase de fabricación.

Es la etapa 1 la energía utilizada es la eléctrica, muy difícil de sustituir.

Una solución para reducir su impacto de la energía eléctrica es, obtenerla a través de energías renovables.

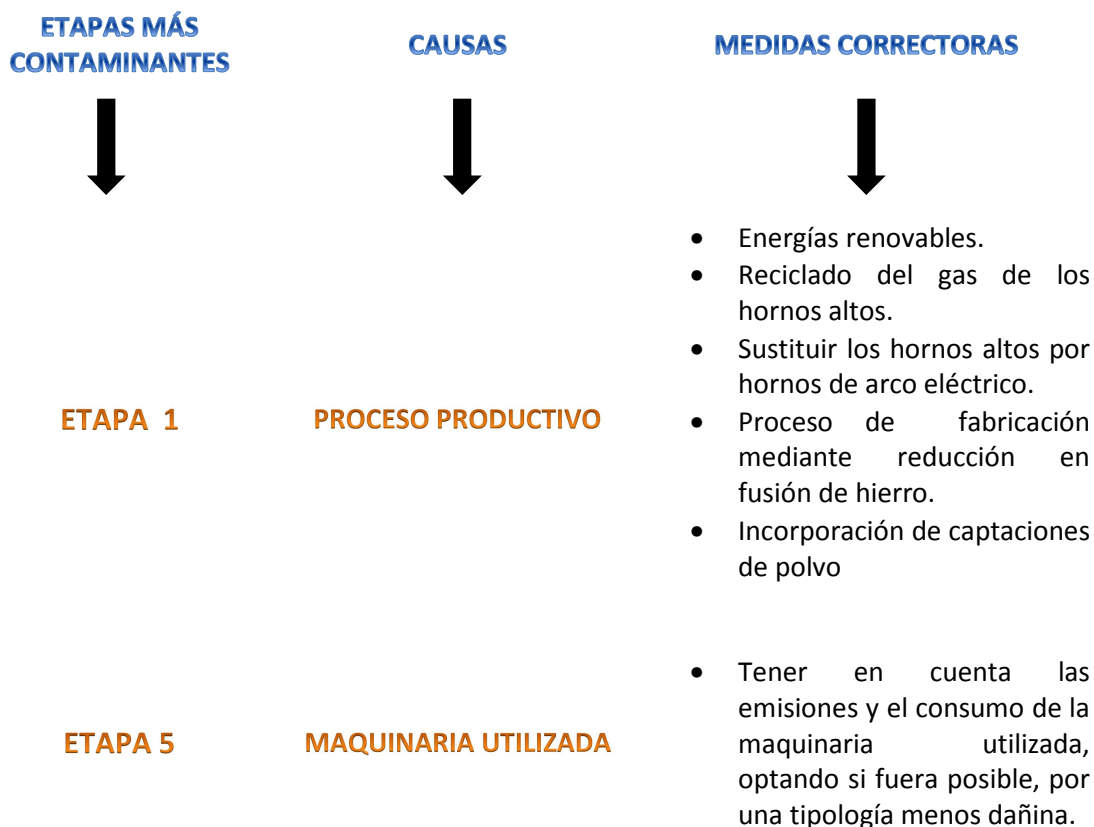
En cuanto a las emisiones, tal vez una de las medidas correctoras más viable se basa en el reciclado del gas de los hornos altos. Otra medida es la de ir sustituyendo progresivamente los hornos altos por hornos de arco eléctrico, ya que, su contaminación es sensiblemente inferior. El reciclado del acero también es una alternativa para ahorrar emisiones de CO<sub>2</sub>. Y una medida que se ha impulsado en algunos países escandinavos es, un sistema de prerreducción de gas natural, es decir, un proceso de fabricación mediante reducción en fusión de hierro, que permite suprimir las actuales fases de coquización y sinterización en la producción.

Para la protección del medio ambiente sería necesario, la incorporación de captaciones de polvo mediante una depuración pro filtros de mangas. Además en la fabricación del acero se obtiene un subproducto conocido como escoria, que se comercializa en su totalidad, sobre todo para bases de carreteras. También el agua se utiliza en grandes cantidades, por ello es importante su reciclado en cantidades superiores al 90%, aunque por el momento sólo se cuenta con sistemas de tratamiento del agua servida para todos los procesos.

Environmental Guidelines del Banco Mundial proporciona los lineamientos para las emisiones; la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) establece las normas para la calidad del aire y de los efluentes. Estos reglamentos pueden servir como pautas para los proyectos de fabricación de hierro y acero en los países en desarrollo que no cuenten con su propia normativa. Para que las prácticas de almacenamiento de líquidos sean adecuadas, puede ser necesario utilizar tanques de doble pared o diques; asimismo, hay que tener sistemas de detección de fugas, tanto para líquidos, como gases, así como tanques y tuberías.

#### 3.4.2- Revisión crítica

Las fuentes, fiables, para cuantificar las diferentes etapas del acero ha sido la base de datos BEDEC del Itec.



Esquema 5.1.3: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de los perfiles laminados.

### **V.1.4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL MORTERO (M10)**

#### 4.1- OBJETIVO Y ALCANCE

##### 4.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida del mortero son más contaminantes para el medio ambiente.

##### 4.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de mortero M10.

<b>MORTERO M10</b>	
<b>Componentes</b>	<b>1 tonelada</b>
Árido	800,00 kg
Cemento	200,00 kg
Total	1000 kg

Tabla 4.1: Relación entre volumen y peso del hormigón.

- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:

- Etapa 1: Fabricación. El proceso de extracción de las materias primas y fabricación del producto.
- Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
- Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
- Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
- Etapa 5: Demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.

- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europea y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.



## 4.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 4.2.1- Recopilación de datos

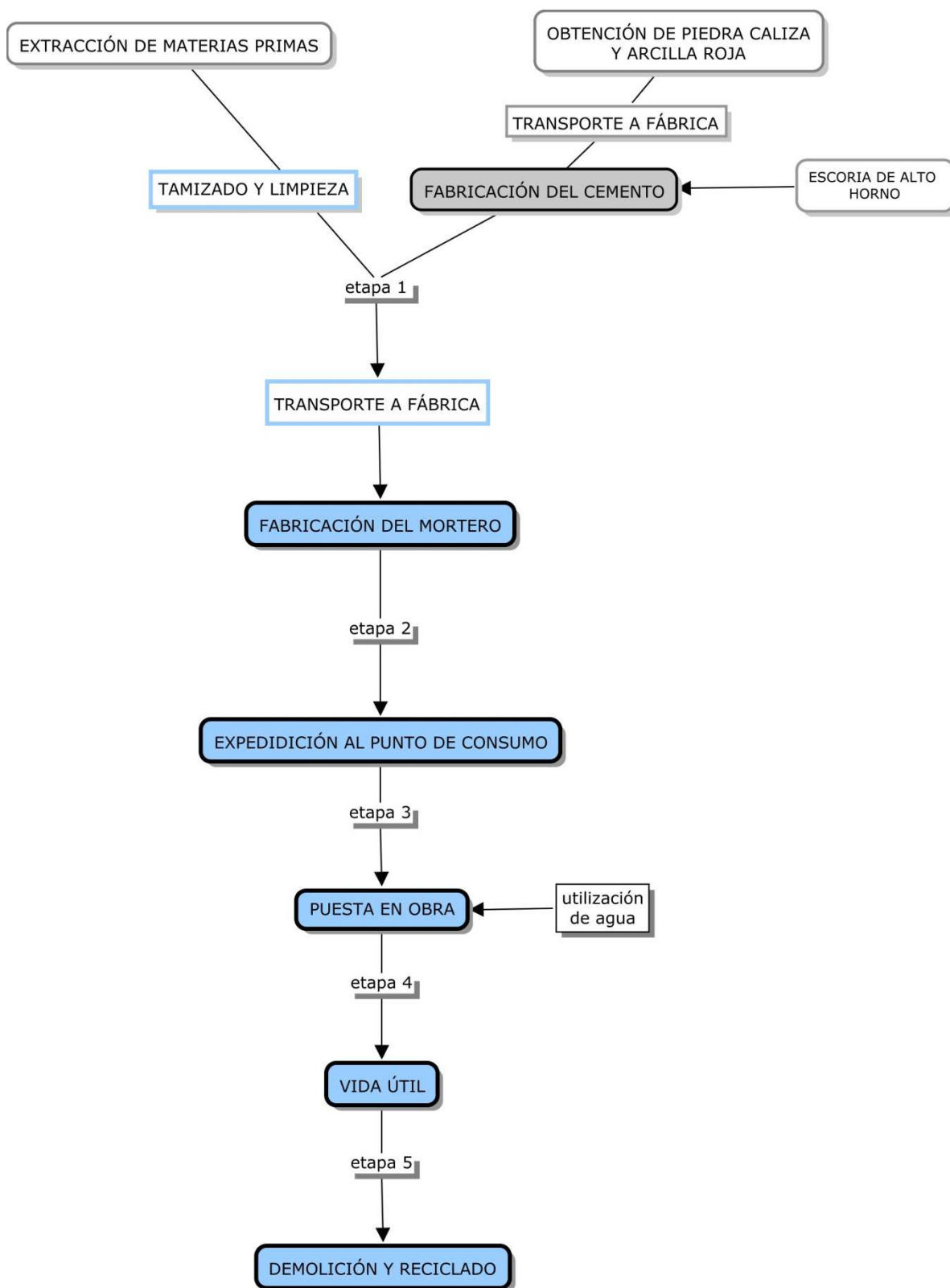


Figura 5.1.4: Árbol del ciclo de la vida del mortero

#### 4.2.2- Cálculo de datos

##### **Etapa 1- Fabricación**

- Extracción de materias primas y su transporte a fábrica. La extracción de áridos, de cualquier tipo, conlleva 8 kg de CO<sub>2</sub> y un coste energético de 150 MJ por una tonelada <sup>[24]</sup>. Para una tonelada de mortero se necesitará 800,00 kg de áridos, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden a 6,40 kg y un coste energético de 120 MJ.

El consumo de agua en esta etapa es necesario para el lavado de los áridos. Para la arena se necesitan entre 1500 y 3500 litros por tonelada, mientras que para la grava son necesarios entre 700 y 2500 litros <sup>[13]</sup>. Para este caso se utilizará 2500 litros, cantidad que abarca tanto a arena como a grava, por tonelada. La cantidad de agua necesaria será 2000 litros.

- Fabricación, se estudiará por separado el cemento y el mortero. Durante la fabricación de una tonelada del primero se vierten a la atmósfera 900 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[2]</sup>. La cantidad necesaria de cemento para la fabricación del mortero es de 200,00 kg (tabla 4.1), por lo que las emisiones serán 180,00 kg de CO<sub>2</sub>. El agua necesaria para la fabricación de una tonelada de cemento es 30000 litros <sup>[33]</sup>, para 200,00 kg de cemento será 6000 litros.

El agua necesaria para la fabricación de mortero se verá en la etapa 3.

##### **Etapa 2- Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

##### **Etapa 3- Puesta en obra**

Para la colocación de mortero, en general, es necesario un aporte de agua. En este caso se añadirá 4 litros de agua por cada saco de 25 kg. Se necesitarán, por lo tanto, un aporte de 160 litros, por cada tonelada de mortero amasado y una merma del 10% por cada tonelada de producto colocado. En conclusión la cantidad de agua es de 176 litros.

Cada litro de agua tiene un coste energético de 0,006 MJ y emite al aire  $0,29 \cdot 10^{-3}$  kg de CO<sub>2</sub> <sup>[24]</sup>. Las emisiones y el coste será 0,051 kg de CO<sub>2</sub> y 1,056 MJ.

##### **Etapa 4- Vida útil**

En este caso no será necesario ningún tipo de intervención significativa a lo largo de su vida útil, limitada a 50 años. El consumo de energía y las emisiones se consideran nulas en esta etapa.

##### **Etapa 5- Demolición y reciclado**

La realización de la demolición para el posterior reciclado del edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. Hay que tener en cuenta que el hormigón ya no es un material aislado, sino que forma parte de un conjunto, por lo que en la segunda etapa de reciclado los materiales reciben el mismo tratamiento.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora <sup>[24]</sup>. En nuestro análisis será una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

	ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)
MORTERO M10	<b>ETAPA 1</b>					
	Extracción áridos	800 kg	-	2000 l	120 MJ	6,40 kg
	Fabricación cemento	200 kg	64,52 l Gasoil	6000 l	654,84 MJ	180,00 kg
	<b>ETAPA 2</b>					
	Expedición	-	5,84 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg
	<b>ETAPA 3</b>					
	Puesta en obra	-	-	176 l	1,06 MJ	0,05 kg
	<b>ETAPA 4</b>					
	Mantenimiento	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 5</b>					
	Retroexcavadora	-	42,74 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg
	Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg
	Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg
	<b>TOTAL</b>					
		-	375,09 l Gasoil	8176 l	1946,43 MJ	492,07 kg

Tabla 5.1.4: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del mortero.

### 4.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

#### 4.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[15]</sup>, anualmente. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida del mortero:

$$492,07 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,10 \text{ ha} = 1000 \text{ m}^2$$

Se necesitan 1000 m<sup>2</sup> de bosque y 100 árboles aproximadamente.

Toxicidad, no se consideran sustancias tóxicas en esta análisis.

Agotamiento de recursos naturales, para la fabricación del mortero son necesarios cemento, áridos y agua.

El cemento está compuesto por escorias de alto horno y clínker. Tanto los minerales para la obtención del cemento como para la obtención del clínker son recursos naturales no renovables en un periodo corto de tiempo, pero no se teme por su agotamiento gracias, a su abundante existencia.

Además de estos recursos existen otros como el petróleo y gas natural tratados en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida, al igual que el agua.

Energía consumida, en el caso de las barras corrugadas la energía consumida total es de 1946,43 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$1946,43 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 108,14 * 10^6 \text{ s} = 30037,5 \text{ horas} = 1251,56 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$1946,43 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 0,34 * 10^6 \text{ s} = 94,44 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapa 1- La información sobre los residuos producidos en esta etapa es poca o nula. Cabe decir que en el lavado de áridos se consumen 2500 litros de agua por tonelada. El agua sobrante debería ser tratada, reciclándose, para poder ser utilizada posteriormente. Uno de los tratamientos de limpieza del agua sería mediante unos floculantes, sustancias químicas que elevan el peso de los finos aligerando su asentamiento. Una vez terminado el proceso las aguas pueden ser evacuadas o reutilizadas en el proceso de lavado <sup>[13]</sup>. Al mismo tiempo que resulta el agua clarificada también se obtiene un lodo, formado por las partículas de los áridos asentados.

Etapa 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapa 3- En esta etapa el 10% del mortero expedido se considero residuo. De una tonelada de mortero 100 kg será residuo.

Etapa 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapa 5- El 100% del material es residuo.

#### 4.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

##### 4.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.3, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1, en concreto la fase de fabricación y en la etapa 5.

Es la etapa 1 Los datos obtenidos por la EPA nos indican que una tonelada de material tiene una repercusión en la atmósfera de 900 kg de CO<sub>2</sub>.

Una medida correctora es consiguiendo una notable reducción de los niveles de emisiones en el proceso de fabricación de cemento, especialmente en valores de dióxido de carbono, mediante el método STEP (Solar Thermal Electrochemical Production).

Con el método STEP se sustituye el combustible fósil por energía solar térmica. El calor del sol se emplea para fundir la piedra caliza y también para realizar su electrólisis. En lugar de producir cal y dióxido de carbono, los productos de la reacción son cal, carbono y oxígeno (si la reacción se realiza a 800 grados centígrados) o cal, monóxido de carbono y oxígeno (si la reacción se realiza a una temperatura superior a 800 grados centígrados). El carbono puro, conocido también como grafito, puede ser fácilmente almacenado o utilizado por la industria. El monóxido de carbono puede ser empleado como en la fabricación de plásticos y combustibles o en la purificación del níquel.

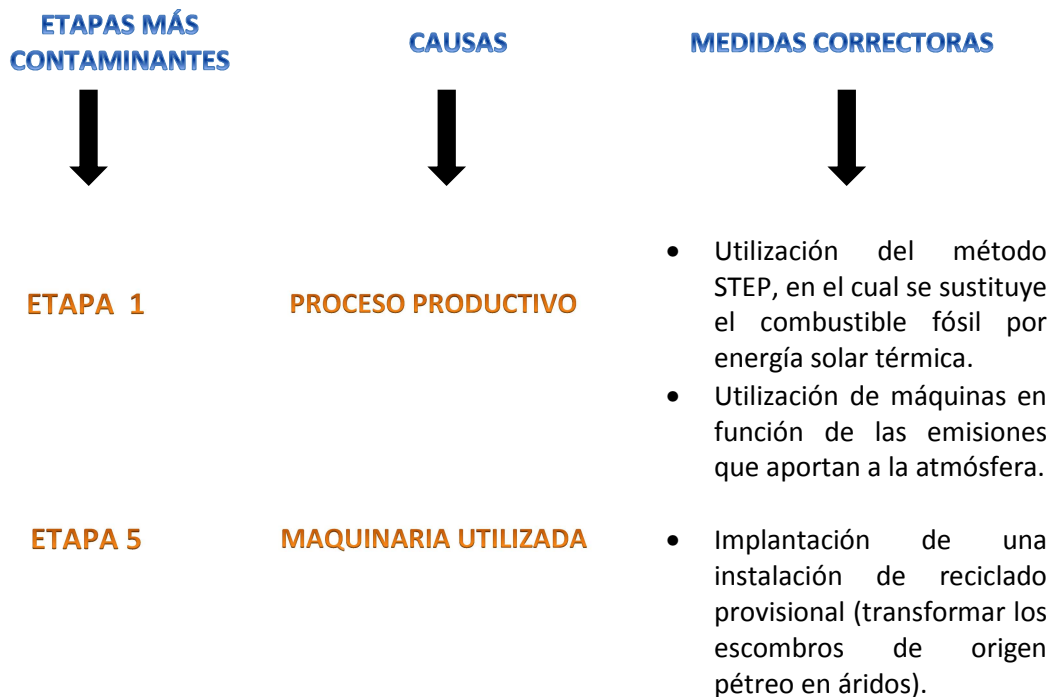
Otra ventaja es que la cal no reacciona con estos subproductos quedando precipitada.

En la etapa 5 las emisiones y el consumo están relacionadas con la maquinaria utilizada. Las medidas, posibles, a emplear podrían ser utilizar máquinas en función de las emisiones que aportan a la atmósfera. Otra medida sería la implantación de una instalación de reciclado provisional, para transformar los escombros de origen pétreo en áridos, ahorrando el transporte.

##### 4.4.2- Revisión crítica

Las fuentes, utilizados para la elaboración del ACV del hormigón han sido la EPA y la base de datos del BEDEC. Esta última establece que para una tonelada de cemento se emiten a la atmósfera 833 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que la primera considera 900 kg de CO<sub>2</sub>. En el BREF (documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles) se asegura que una tonelada de cemento aporta entre 800-1040 kg de CO<sub>2</sub>.

Las diferencias pueden deberse a los diferentes límites establecidos para su cálculo. En este trabajo se ha utilizado por el dato ofrecido por la EPA, al ser un valor intermedio proveniente de una fuente fiable.



Esquema 5.1.4: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del mortero.

### V.1.5 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL HORMIGÓN

#### 5.1- OBJETIVO Y ALCANCE

##### 5.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida del hormigón son más contaminantes para el medio ambiente.

##### 5.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de hormigón HA-35/P/20/IIb, es decir, una tonelada de hormigón armado de resistencia 35 N/mm<sup>2</sup>, consistencia plástica, tamaño del árido inferior a 20 mm y clase de exposición normal/humedad media. En la tabla siguiente se muestra la cantidad, de los componentes, necesaria para la elaboración de una tonelada este hormigón [24].

HA-35/P/20/IIb			Relación <b>0,409</b>
Componentes	1 m <sup>3</sup>	1 tonelada	
Agua	157,50	64,52	
Árido	1.933,43	792,09	
Cemento	350,00	143,39	
Total	2440,93	1000	

Tabla 5.1: Relación entre volumen y peso del hormigón.

- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:

- Etapa 1: Fabricación. El proceso de extracción de las materias primas y fabricación del producto.
- Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo. Se considerará que el tiempo invertido en el recorrido es de una hora.
- Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción. A partir de esta etapa hormigón y acero serán un único material.
- Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
- Etapa 5: Demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.

- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europa y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 5.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE LA VIDA (ICV)

### 5.2.1- Recopilación de datos

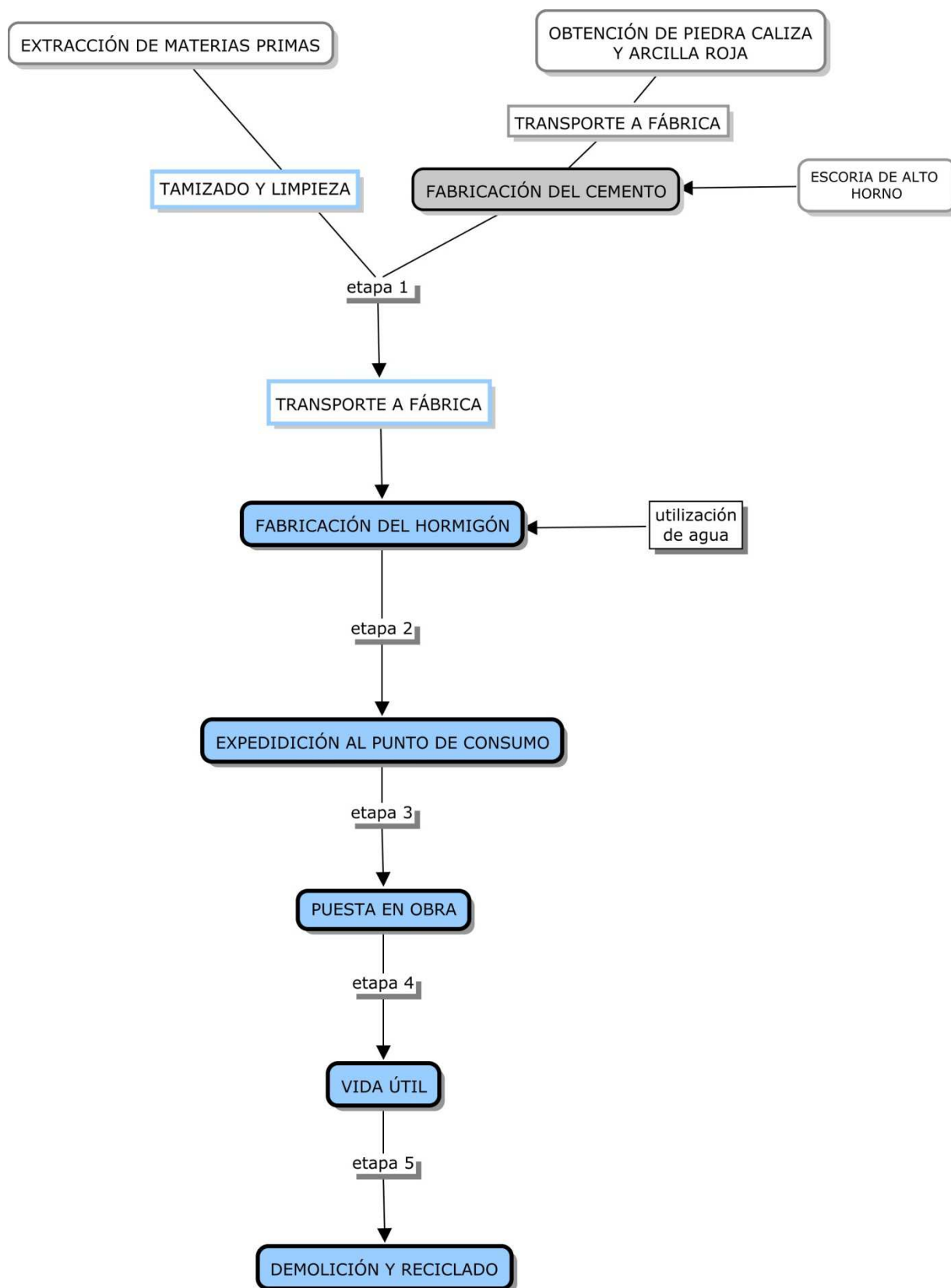


Figura 5.1.5: Árbol del ciclo de la vida del hormigón.



## 5.2.2- Cálculo de datos

### Etapa 1- Fabricación

Extracción de materias primas y su transporte a fábrica. La extracción de áridos, de cualquier tipo, conlleva 8 kg de CO<sub>2</sub> y un coste energético de 150 MJ por una tonelada <sup>[24]</sup>. Para una tonelada de hormigón se necesitará 792,09 kg de áridos, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden a 6,34 kg y un coste energético de 118,81 MJ.

El consumo de agua en esta etapa es necesario para el lavado de los áridos. Para la arena se necesitan entre 1500 y 3500 litros por tonelada, mientras que para la grava son necesarios entre 700 y 2500 litros <sup>[13]</sup>. Para este caso se utilizará 2500 litros, cantidad que abarca tanto a arena como a grava, por tonelada. La cantidad de agua necesaria será 1980,23 litros.

En cuanto al clínker no se consideran emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera durante el proceso de extracción <sup>[18]</sup>.

Fabricación, se estudiará por separado el cemento y el hormigón. Durante la fabricación de una tonelada del primero se vierten a la atmósfera 900 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[2]</sup>. La cantidad necesaria de cemento para la fabricación del hormigón es de 143,39 kg (tabla 4.1), por lo que las emisiones serán 129,05 kg de CO<sub>2</sub>. El agua necesaria para la fabricación de una tonelada de cemento es 30000 litros <sup>[33]</sup>, para 143,39 kg de cemento será 4301,7 litros.

En la fabricación del hormigón serán necesarios 64,52 litros de agua. Un litro de agua tiene un coste energético de 0,0060 MJ y unas emisiones de  $2,9 \cdot 10^{-4}$  kg de CO<sub>2</sub> <sup>[24]</sup>. En nuestro caso la unidad funcional es una tonelada y el resultado de coste y emisiones es, 0,39 MJ y 0,02 kg de CO<sub>2</sub>.

### Etapa 2- Expedición.

Para el transporte del producto se ha optado por un camión hormigonera de capacidad 6 m<sup>3</sup> (14,1 toneladas). Su consumo de energía por hora es de 949,45 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 248,00 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: no excederá de 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 63,34 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 17,59 kg.

### Etapa 3- Puesta en obra

Para la puesta en obra del hormigón, se utilizará un vibrador. Una hora de esta maquinaria produce 55,95 MJ y 8,16 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[24]</sup>.

Teniendo en cuenta que, la unidad funcional de este trabajo es una tonelada (0,43 m<sup>3</sup>) y el tiempo para vibrar esta cantidad es de 8 minutos el resultado final será de, 7,46 MJ y 1,09 kg de CO<sub>2</sub>.

### Etapa 4- Vida útil

En este caso no será necesario ningún tipo de intervención a lo largo de su vida útil, limitada a 50 años. El consumo de energía y las emisiones se consideran nulas en esta etapa.

### Etapa 5- Demolición y reciclado

La realización de la demolición para el posterior reciclado del edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. Hay que tener en cuenta que el hormigón ya no es un material aislado, sino que forma parte de un

conjunto, por lo que en la segunda etapa de reciclado los materiales reciben el mismo tratamiento.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora <sup>[24]</sup>. En nuestro análisis será una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

	ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)	
<b>HORMIGÓN</b>	<b>HORMIGÓN EN MASA</b>						
	<b>ETAPA 1</b>						
	Extracción clínquer	-	-	-	-	-	
	Extracción áridos	792,09 kg	-	1980,23 l	118,81 MJ	6,34 kg	
	Fabricación cemento	143,39 kg	46,25 l Gasoil	4301,7 l	469,49 MJ	129,05 kg	
	Fabricación hormigón	-	-	64,52 l	0,39 MJ	0,02 kg	
	<b>ETAPA 2</b>						
	Expedición	-	6,31 l Gasoil	-	63,34 MJ	17,59 kg	
	<b>TOTAL (HM)</b>						
				90,10 l Gasoil	-	652,03 MJ	153 kg
	<b>HORMIGÓN ARMADO</b>						
	<b>ETAPA 3</b>						
	Vibrado	-	-	-	7,46 MJ	1,09 kg	
	<b>ETAPA 4</b>						
	Mantenimiento	-	-	-	-	-	
	<b>ETAPA 5</b>						
	Retroexcavadora	-	42,74 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg	
	Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg	
Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg		
<b>TOTAL (HA)</b>							
	-		103,71 l Gasoil	-	1115,15 MJ	290,42 kg	
<b>TOTAL (HM Y HA)</b>							
			193,81 l Gasoil	-	2148,18 MJ	530,83 kg	

Tabla 5.1.5: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del hormigón.

### 5.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

#### 5.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub>, anualmente <sup>[15]</sup>. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida del hormigón:

$$530,83 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,11 \text{ ha} = 1100 \text{ m}^2$$

Se necesitan 1100 m<sup>2</sup> de bosque y 110 árboles aproximadamente.

Toxicidad, no se consideran sustancias tóxicas en esta análisis.

Agotamiento de recursos naturales, para la fabricación del hormigón son necesarios cemento, áridos y agua.

El cemento está compuesto por escorias de alto horno y clínker. Tanto los minerales para la obtención del cemento como para la obtención del clínker son recursos naturales no renovables en un periodo corto de tiempo, pero no se teme por su agotamiento gracias, a su abundante existencia.

Además de estos recursos existen otros como el petróleo y gas natural tratados en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida, al igual que el agua.

Energía consumida, en el caso de las barras corrugadas la energía consumida total es de 2148,18 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$2148,18 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 119,34 * 10^6 \text{ s} = 33150 \text{ horas} = 1381,25 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$2148,18 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 0,37 * 10^6 \text{ s} = 102,78 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapa 1- La información sobre los residuos producidos en esta etapa es poca o nula. Cabe decir que en el lavado de áridos se consumen 2500 litros de agua por tonelada. El agua sobrante debería ser tratada, reciclándose, para poder ser utilizada posteriormente. Uno de los tratamientos de limpieza del agua sería mediante unos floculantes, sustancias químicas que elevan el peso de los finos aligerando su asentamiento. Una vez terminado el proceso las aguas pueden ser evacuadas o reutilizadas en el proceso de lavado <sup>[13]</sup>. Al mismo tiempo que resulta el agua clarificada también se obtiene un lodo, formado por las partículas de los áridos asentados.

Etapa 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapa 3- En esta etapa no se consideran residuos.

Etapa 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapa 5- El 100% del material es residuo.

## 5.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 5.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.3, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1, en concreto la fase de fabricación y en la etapa 5.

Es la etapa 1 Los datos obtenidos por la EPA nos indican que una tonelada de material tiene una repercusión en la atmósfera de 900 kg de CO<sub>2</sub>.

Una medida correctora es consiguiendo una notable reducción de los niveles de emisiones en el proceso de fabricación de cemento, especialmente en valores de dióxido de carbono, mediante el método STEP (Solar Thermal Electrochemical Production).

Con el método STEP se sustituye el combustible fósil por energía solar térmica. El calor del sol se emplea para fundir la piedra caliza y también para realizar su electrólisis. En lugar de producir cal y dióxido de carbono, los productos de la reacción son cal, carbono y oxígeno (si la reacción se realiza a 800 grados centígrados) o cal, monóxido de carbono y oxígeno (si la reacción se realiza a una temperatura superior a 800 grados centígrados). El carbono puro, conocido también como grafito, puede ser fácilmente almacenado o utilizado por la industria. El monóxido de carbono puede ser empleado como en la fabricación de plásticos y combustibles o en la purificación del níquel.

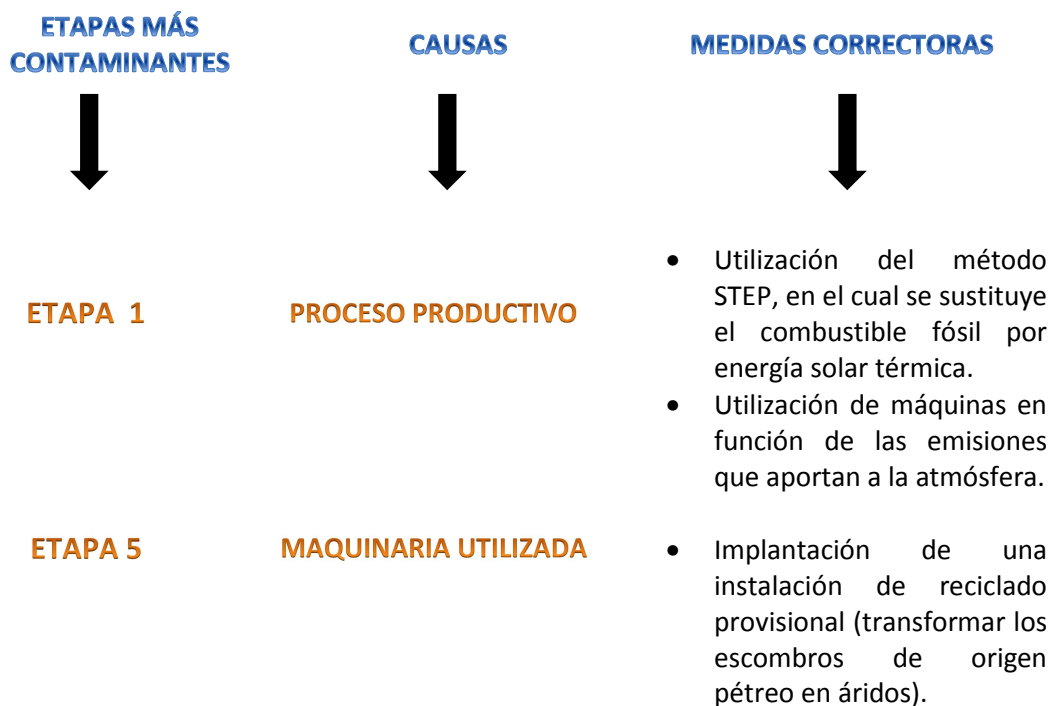
Otra ventaja es que la cal no reacciona con estos subproductos quedando precipitada.

En la etapa 5 las emisiones y el consumo están relacionadas con la maquinaria utilizada. Las medidas, posibles, a emplear podrían ser utilizar máquinas en función de las emisiones que aportan a la atmósfera. Otra medida sería la implantación de una instalación de reciclado provisional, para transformar los escombros de origen pétreo en áridos, ahorrando el transporte.

### 5.4.2- Revisión crítica

Las fuentes, utilizados para la elaboración del ACV del hormigón han sido la EPA y la base de datos del banco BEDEC. Esta última establece que para una tonelada de cemento se emiten a la atmósfera 833 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que la primera considera 900 kg de CO<sub>2</sub>. En el BREF (documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles) se asegura que una tonelada de cemento aporta entre 800-1040 kg de CO<sub>2</sub>.

Las diferencias pueden deberse a los diferentes límites establecidos para su cálculo. En este trabajo se ha utilizado por el dato ofrecido por la EPA, al ser un valor intermedio proveniente de una fuente fiable.



Esquema 5.1.5: Resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del hormigón.

## **V.1.6 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA LANA DE VIDRIO**

### 6.1- OBJETIVO Y ALCANCE

#### 6.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida de la lana de vidrio son más contaminantes para el medio ambiente.

#### 6.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de lana de vidrio, limitando su vida útil 50 años.
- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:
  - Etapa 1: Fabricación. El proceso de extracción y de fabricación.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.
- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europa y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 6.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 6.2.1- Recopilación de datos

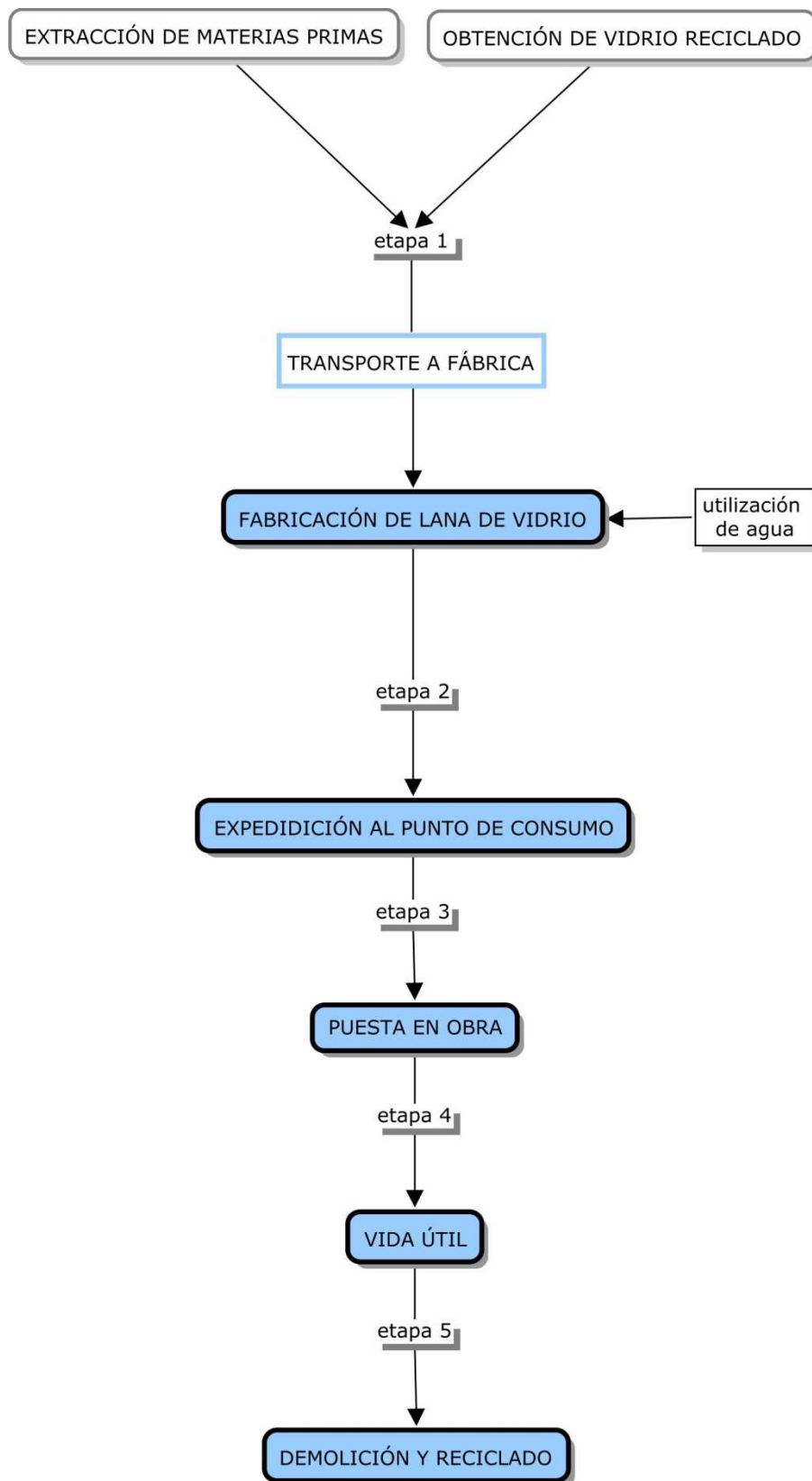


Figura 5.1.6: Árbol del ciclo de vida de la lana de vidrio.

## 6.2.2- Cálculo de datos

### **Etapa 1- Fabricación**

- Extracción de materias primas y su transporte a fábrica. La extracción de áridos, de cualquier tipo, conlleva 8 kg de CO<sub>2</sub> y un coste energético de 150 MJ por una tonelada <sup>[24]</sup>. Para una tonelada de lana de vidrio, se necesitará 900 kg de materia prima, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponden a 7,2 kg y un coste energético de 135 MJ.

El consumo de agua en esta etapa es necesario para el lavado de la materia prima. Para la arena se necesitan entre 1500 y 3500 litros por tonelada <sup>[13]</sup>. Para este caso se utilizará 2500 litros, cantidad que abarca tanto a arena como la caliza y el resto de materias primas, por tonelada. La cantidad de agua necesaria será 2250 litros.

- Fabricación, para un kilogramo de material se necesitan 48,67 MJ y se emite 1,47 kg de CO<sub>2</sub> <sup>[24]</sup>. La unidad funcional de este proyecto es una tonelada por lo que la energía consumida y el CO<sub>2</sub> emitidos son 48670 MJ y 1470 kg.

### **Etapa 2- Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

### **Etapa 3- Puesta en obra**

La puesta en obra es un trabajo manual más que mecánico, por lo que no se ha considerado emisiones de CO<sub>2</sub> ni consumo energético en esta etapa.

### **Etapa 4- Vida útil**

En este caso se considera que la lana de vidrio irá revestida con otros materiales no siendo necesario ningún tipo de mantenimiento a lo largo de su vida útil, limitada a 50 años. El consumo de energía y las emisiones se consideran nulas en esta etapa.

### **Etapa 5- Demolición y reciclado**

La realización de la demolición para el posterior reciclado del edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. Hay que tener en cuenta que la lana de vidrio ya no es un material aislado, sino que forma parte de un conjunto, por lo que en la segunda etapa de reciclado los materiales reciben el mismo tratamiento.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora <sup>[24]</sup>. En nuestro análisis será



una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

		ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)
LANA DE VIDRIO	<b>ETAPA 1</b>						
		Extracción	900 kg	-	2250 l	150 MJ	7,2 kg
		Fabricación	-	1162,69 m <sup>3</sup> G.N.	20875 l	48670 MJ	1470 kg
	<b>ETAPA 2</b>						
		Expedición	-	6,5 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg
	<b>ETAPA 3</b>						
		Puesta en obra	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 4</b>						
		Mantenimiento	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 5</b>						
		Retroexcavadora	-	42,74 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg
		Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg
		Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg
	<b>TOTAL</b>						
		-	-	23125 l	49990,07 MJ	1782,82 kg	

Tabla 5.1.6: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la lana de vidrio.

### 6.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

#### 6.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub>, anualmente <sup>[15]</sup>. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida de la lana de vidrio:

$$1782,82 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,36 \text{ ha} = 3600 \text{ m}^2$$

Se necesitan 3600 m<sup>2</sup> de bosque y 360 árboles aproximadamente.

Toxicidad, en ninguna de las etapas estudiadas del ciclo de la lana de vidrio no se observa sustancias suficientemente tóxicas para personas y ecosistemas.

Agotamiento de recursos naturales, la arena de sílice, el petróleo, gas natural y el agua son los recursos naturales más importantes en la lana de vidrio.

La arena de sílice no se regenera a corto plazo pero su abundancia hace que no se tema por su agotamiento.

Los otros tres recursos están explicados en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.

Energía consumida, en el caso de la lana de vidrio la energía consumida total es de 49990,07 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$49990,07 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 2777,23 * 10^6 \text{ s} = 771452,78 \text{ horas} = 32143,87 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$49990,07 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 8,69 * 10^6 \text{ s} = 2413,89 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapas 1- La generación de residuos en esta etapa recae sobre la fase de fabricación, donde se producen residuos como lodos de decantación del tratamiento de las aguas residuales, polvos de los conductos de humos y residuos refractarios, generados por la demolición de los hornos. Por lo general estos últimos son inertes y no causan problemas, pero en algunos casos por su contacto prolongado con el vidrio a elevadas temperaturas pueden estar contaminados, convirtiéndose así en residuos que deben gestionarse conforme a su caracterización.

Una medida contra la emisión de polvo es la instalación de filtros de mangas, formados por una serie de tejidos filtrantes soportados por una estructura. Los gases a depurar pasan a través de los poros de las mangas en los cuales se retienen las partículas en suspensión, formándose una capa de polvo sobre el sistema filtrante que causa un aumento de la caída de presión y un ligerísimo aumento del rendimiento.

Otro tipo de residuos son los de embalaje y acondicionamiento o de mantenimiento (chatarras).

La puesta en marcha de recogida selectiva en la zona interna de almacenamiento, es una de las medidas con vista a un reciclado o revalorización.

El vertido de agua, no es significativo. El principal vertido procede de las purgas del sistema de refrigeración en circuito cerrado que contienen sales minerales y productos químicos procedentes del tratamiento del agua. La mayor parte de estas pérdidas son por evaporación y arrastre en torres de refrigeración.

La medida correctora sería la instalación de circuitos cerrados para el agua de refrigeración.

Etapa 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapa 3- El 10% del agua utilizada se considera merma.

Etapa 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapa 5- El 100% del material es residuo.

## 6.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 6.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.1.6, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1 y 5, en concreto la fase de fabricación.

En la etapa 1 el dato más significativo en esta etapa es el consumo de energía. Los datos han sido obtenidos de la base de datos de BEDEC y de la página web de ISOVER.

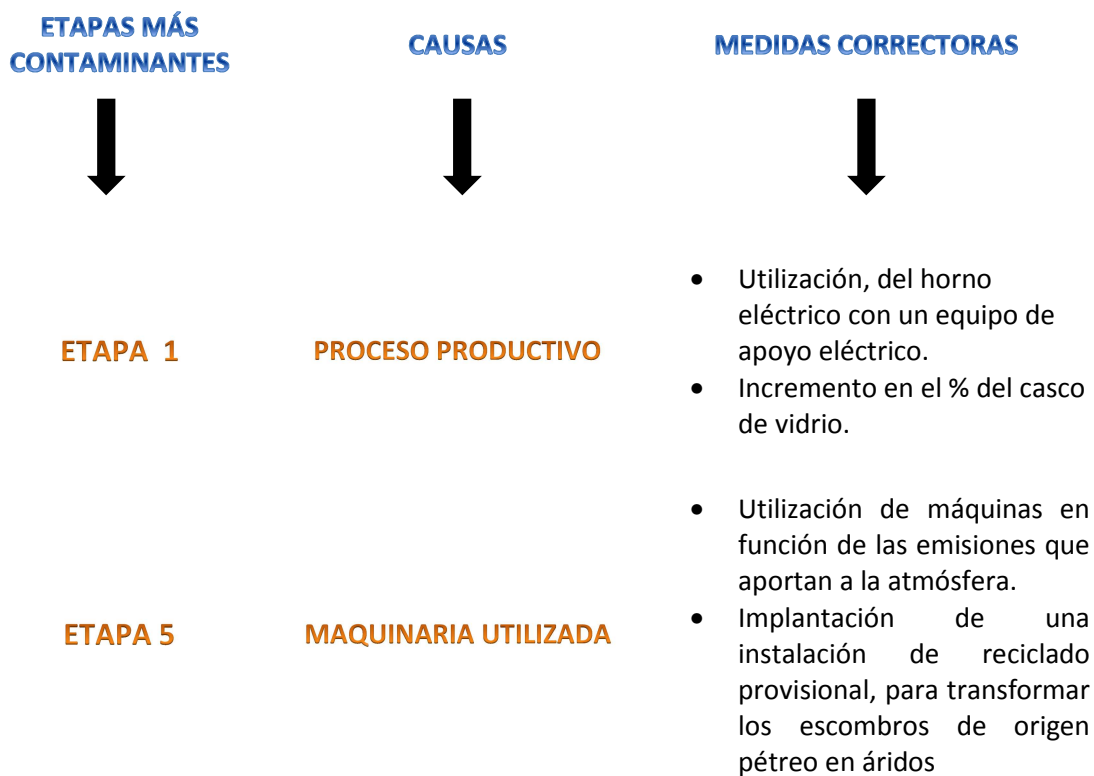
Una medida correctora, utilizada en el 25% de las instalaciones de lanas minerales, sería la utilización, del horno eléctrico con un equipo de apoyo eléctrico, reduciendo en su conjunto hasta un 20% del consumo de energía. Con el horno eléctrico se evitaría además, la formación de contaminantes derivados de la combustión.

Otra medida para la reducción del coste energético y emisiones de CO<sub>2</sub> es el incremento en el % del casco de vidrio. Se consigue con ello un menor empleo de combustible, ya que, el vidrio necesita menos energía para fundirse, un ahorro del 2% por cada 10% de vidrio reciclado según la Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio. Provoca su utilización una reducción de la cantidad de materias primas utilizadas y, a su vez, de las emisiones del proceso de descarbonatación, una tonelada de vidrio reciclado ahorra 1,2 toneladas de materia prima, afirma la Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio. También minimiza el volumen de residuos urbanos.

En la etapa 5 las emisiones y el consumo están relacionadas con la maquinaria utilizada. Las medidas, posibles, a emplear podrían ser utilizar máquinas en función de las emisiones que aportan a la atmósfera. Otra medida sería la implantación de una instalación de reciclado provisional, para transformar los escombros de origen pétreo en áridos, ahorrando el transporte.

### 6.4.2- Revisión crítica

Las fuentes, fiables, para cuantificar las diferentes etapas de la lana de vidrio han sido la base de datos BEDEC del Itec, la página web de ISOVER, Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio que pertenece al BREF y CEMEX.



Esquema 5.1.6: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la lana de vidrio.

## **V.1.7 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA MADERA**

### 7.1- OBJETIVO Y ALCANCE

#### 7.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida de la madera son más contaminantes para el medio ambiente.

#### 7.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de madera, limitando su vida útil 50 años.
- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:
  - Etapa 1: Fabricación. El proceso de obtención de la materia prima y elaboración del producto.
  - Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
  - Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
  - Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
  - Etapa 5: demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.
- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europa y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 7.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 7.2.1- Recopilación de datos

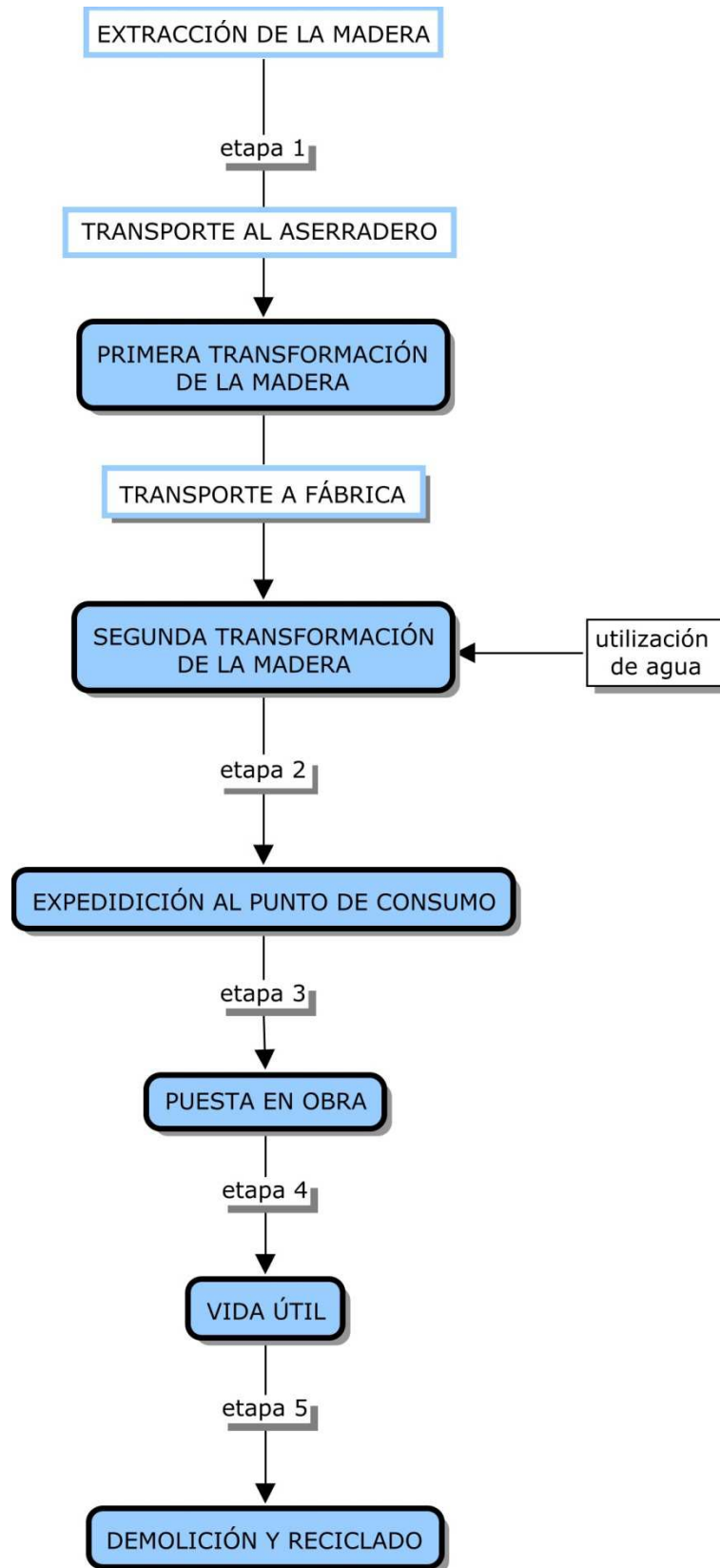


Figura 5.1.7: Árbol del ciclo de vida de la madera.

## 7.2.2- Cálculo de datos

### **Etapa 1 Fabricación**

Dentro de esta etapa se encuentran las fases de extracción y fabricación.

- Extracción de la materia, en el proceso de extracción se incluye tanto la tala de los árboles mediante sierra mecánica como el transporte de la madera hasta la pista mediante tractor.

Se asume que para extraer 1 t de madera en rollo es necesario talar 1,2 t de madera en pie <sup>[20]</sup>. Debido a ello se generan 0,2 t de residuos de madera que permanecen en el bosque.

- Procesado del producto, para este apartado son necesarios 1548 MJ <sup>[22]</sup>. La emisión de CO<sub>2</sub> que provoca el proceso de fabricación es de kg <sup>[24]</sup>.

En esta fase también hay que tener en cuenta el aporte de agua en el baño antimanchas que se le da a la madera. Este baño tiene lugar en una especie de tina cuya capacidad es de 34000 dm<sup>3</sup>, o lo que es lo mismo 34 m<sup>3</sup>. Para llenarla son necesarios 34000 litros de mezcla de los cuales 30000 litros son agua. En nuestro caso es una tonelada la cantidad de madera estudiada por lo que la cantidad de mezcla y agua serán inferiores.

En nuestro caso la madera es de abeto cuya densidad es de 0,6 kg/dm<sup>3</sup> y la masa es de 1000 kg. Con estos datos sacamos que el volumen es de 1666,67 dm<sup>3</sup>, es decir, 1,67 m<sup>3</sup>. Para esta cantidad el agua necesaria es de 1473,53 litros.

### **Etapa 2 Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg <sup>[24]</sup>.

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte y una tonelada de material, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

### **Etapa 3 Puesta en obra.**

Para esta etapa, no se consideran ni emisiones ni consumo energético ya que la maquinaria utilizada para realizar las uniones de la madera son atornilladores con batería.

### **Etapa 4 Vida útil.**

Se consideran nulas las emisiones y el coste energético durante la vida útil del material, establecida en la unidad funcional en 50 años.

### **Etapa 5 Demolición y reciclado.**

La realización de la demolición para el posterior reciclado de un edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. En la segunda, se separan los diferentes tipos de materiales y se transforman en escombros.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente <sup>[24]</sup>.

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora <sup>[24]</sup>. En nuestro análisis será



una tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.

MADERA	ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)	
	<b>ETAPA 1</b>						
	Fabricación	-	-	-	-	-	
	Extracción	1,2 tn	-	-	-	-	
	Procesado	-	430 KWh	1473,53 l	1548 MJ	124,7 kg	
	<b>ETAPA 2</b>						
	Expedición	-	6,15 l Gasoil	-	62,38 MJ	16,29 kg	
	<b>ETAPA 3</b>						
	Puesta en obra	-	-	-	-	-	
	<b>ETAPA 4</b>						
Mantenimiento	-	-	-	-	-		
<b>ETAPA 5</b>							
Retroexcavadora	-	42,73 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg		
Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg		
Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg		
<b>TOTAL</b>							
				<b>1473,53 l</b>	<b>2718,07 MJ</b>	<b>430,32 kg</b>	

Tabla 5.1.7: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la madera

### 7.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

#### 7.3.1- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub>, anualmente <sup>[15]</sup>. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida de la madera:

$$430,32 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,09 \text{ ha} = 900 \text{ m}^2$$

Se necesitan 900 m<sup>2</sup> de bosque y 90 árboles aproximadamente.

Toxicidad, en el baño antimanchas. Los productos químicos aplicados tienen el objetivo de impedir que se desarrolle el hongo cromógeno que provoca cambios de color de la madera entre grisáceo y azulado con sustancias de la familia de los fenoles (tribromofenol o dos fenifenol comúnmente llamado preventol)

Agotamiento de recursos naturales, en el ciclo de vida de la cerámica nos encontramos cuatro recursos naturales, madera, petróleo y gas natural.

La madera es un renovable. Los árboles son seres vivos de crecimiento lento pero continuo. Su extensa presencia en la naturaleza hace que no sea un problema su existencia.

La problemática del petróleo y del gas natural es tratada en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida.

Energía consumida, en el caso de la cerámica la energía consumida total es de 4631,20 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$2718,07 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 151 * 10^6 \text{ s} = 41944,44 \text{ horas} = 1747,69 \text{ días}$$

Con una vivienda de consumo normal (5750 W = 5750 J/s):

$$2718,07 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 0,47 * 10^6 \text{ s} = 130,56 \text{ horas}$$

Generación de residuos sólidos y líquidos, sólo se estudiarán los residuos de las etapas 1 y 5.

- Residuos sólidos:

Etapas 1.- Durante la extracción de 1 tonelada madera se producen 0,2 toneladas de residuos. <sup>[20]</sup>

Las actividades que se realizan en la etapa de descarga, clasificación y acopio de la materia prima generan residuos sólidos: corteza y tierra. Las cantidades de residuos sólidos en esta fase son mínimas, por lo que sus impactos son de baja magnitud, especialmente si se siguen las medidas de prevención indicadas.

En la segunda etapa del proceso (aserrado de la madera) se genera la mayor cantidad de residuos sólidos de madera: aserrín, virutas, cortezas, partes de madera del despunte, orillas con corteza, etc. Durante el procesado de la madera se producen también 2,48 toneladas de residuos debido al aserrío y a la transformación en laminada.

Cuando estos residuos no se manejan adecuadamente, originan impactos ambientales que se constituyen un problema para la industria maderera en general.

Finalmente, en la etapa de secado, almacenamiento de la madera terminada y actividades generales del aserradero (clasificación, embalaje, mantenimiento de equipos y maquinaria y funcionamiento de oficinas) se pueden producir:

- Residuos sólidos domésticos, generados en oficinas, comedor, etc. (papel, cartón, restos de embalajes, plásticos, restos orgánicos, etc.).
- Aceites, grasas, solventes de las operaciones de mantenimiento de maquinarias y equipos, así como aceites de recambios de lubricantes.
- Otros residuos sólidos: filtros, envases vacíos y elementos de limpieza contaminados con restos de grasa, aceites y solventes.

En este tipo de industria los residuos sólidos domésticos no representan un problema, deben ser recolectados separadamente y dispuestos en el relleno sanitario de la localidad. Los demás residuos requieren de un manejo adecuado dentro de la planta y de la gestión con la alcaldía municipal o con entidades privadas para su disposición final.

En esta última etapa, se deben añadir los residuos sólidos generados en el estanque del baño anti manchas, considerados de alta toxicidad. Estos lodos son compuestos principalmente de aserrín, tierra y las soluciones anti hongos. Cuando los residuos no son manejados apropiadamente pueden producir impactos de gran magnitud sobre el suelo, agua, flora y fauna. El volumen de estos lodos depende del tamaño del aserradero.

Residuos líquidos:

En la primera etapa del acopio de madera en rollo los únicos efluentes líquidos generados en el patio de acopio, serán las escorrentías de las aguas lluvias que podrán arrastrar tierra y restos de cortezas adheridas.

Por otra parte, la última etapa se constituye como única fuente generadora de residuos líquidos provenientes del baño anti manchas que, como se mencionó anteriormente, contienen derivados fenólicos que tienen un alto impacto contaminante sobre los cuerpos de agua y son peligrosos para la salud de los trabajadores

Etapas 5: En la demolición el 100% del producto se considera residuo.

En las etapas 2 y 4 se desestiman los residuos de la madera.

## 7.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 7.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Según la tabla 5.1, las etapas donde el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> son mayores y por tanto más perjudiciales en las etapas 1 y 5, más concretamente en la fase de fabricación y destrucción del producto.

Etapas 1.- El consumo de energía es debido al proceso de producción de la madera.

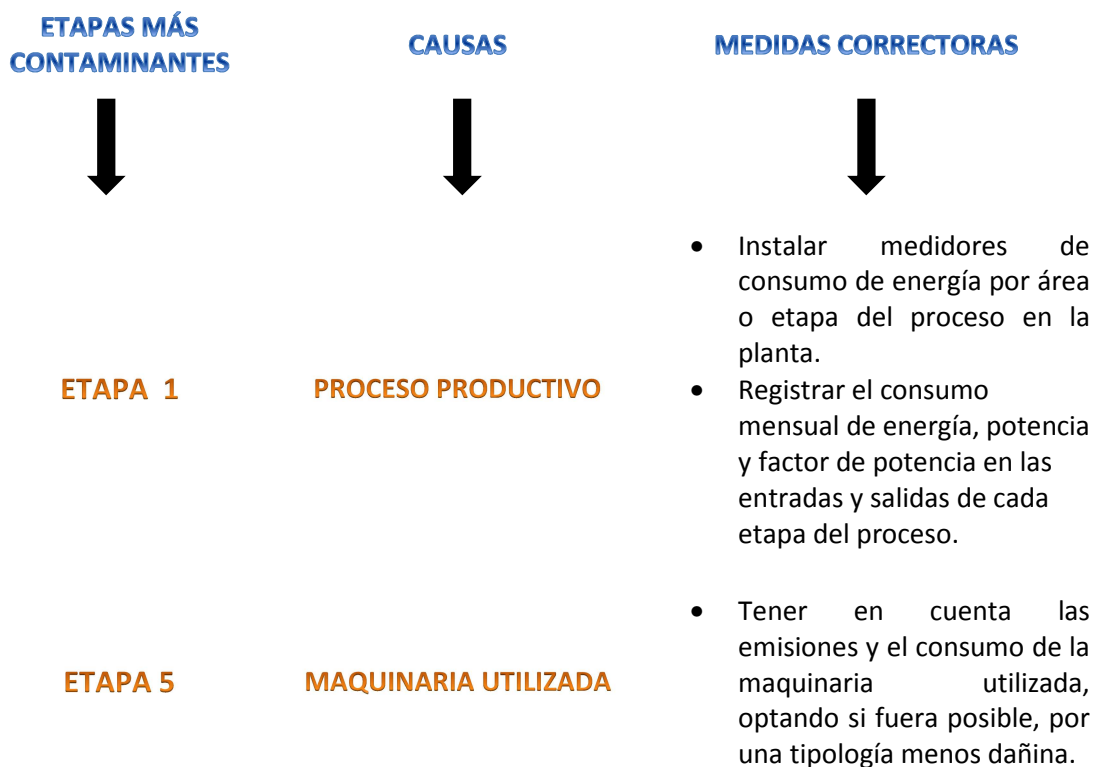
Algunas medidas correctoras son, Instalar medidores de consumo de energía por área o etapa del proceso en la planta, Registrar el consumo mensual de energía, potencia y factor de potencia en las entradas y salidas de cada etapa del proceso,

Etapas 5.- En esta etapa el consumo de energía depende del material utilizado, en cada una de sus fases, al volumen del edificio.

Una medida correctora sería, tener en cuenta las emisiones y el consumo de la maquinaria utilizada, optando si fuera posible, por una tipología menos dañina.

### 7.4.2- Revisión crítica.

Los datos utilizados en el análisis de la madera han sido obtenidos del banco de datos BEDEC en su mayoría. También se ha recurrido a la empresa HOLTZA para el dato de consumo de energía durante el procesado de la madera, siendo contrastado con el banco BEDEC. En el primero el consumo es de 1548 MJ, mientras que el segundo es de 2100 MJ. En la publicación "ENTABLA con el Medio Ambiente" llevado a cabo por ANFTA y la Unión Europea se dice que en producción de madera el consumo es de 15 a 30 veces inferior que el acero. En este caso en concreto es de 1773,23. Se ha elegido el dato ofrecido por HOLTZA por ser el más fiable.



Esquema 5.1.7: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la madera.

## **V.1.8 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL YESO LAMINADO**

### 8.1- OBJETIVO Y ALCANCE

#### 8.1.1- Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad determinar cuáles de las etapas del ciclo de vida del yeso laminado son más contaminantes para el medio ambiente.

#### 8.1.2- Alcance

- Unidad funcional: una tonelada de yeso laminado.

- Límites del sistema: las etapas que se analizarán serán:

- Etapa 1: Fabricación. El proceso de extracción de las materias primas y fabricación del producto.
- Etapa 2: Expedición. Parámetros para el transporte hasta el punto de consumo.
- Etapa 3: Puesta en obra. Recursos utilizados en el proceso de construcción.
- Etapa 4: Vida útil. Recursos utilizados en el decurso de la vida efectiva del material.
- Etapa 5: Demolición y reciclado. Recursos utilizados al final de su vida útil, vertedero o reciclado.

- Requisitos de la calidad de datos: los datos obtenidos para el presente análisis corresponden a organismo de la Unión Europea y en menor medida de los Estados Unidos, con menos de 10 años de antigüedad.

## 8.2- ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### 8.2.1- Recopilación de datos

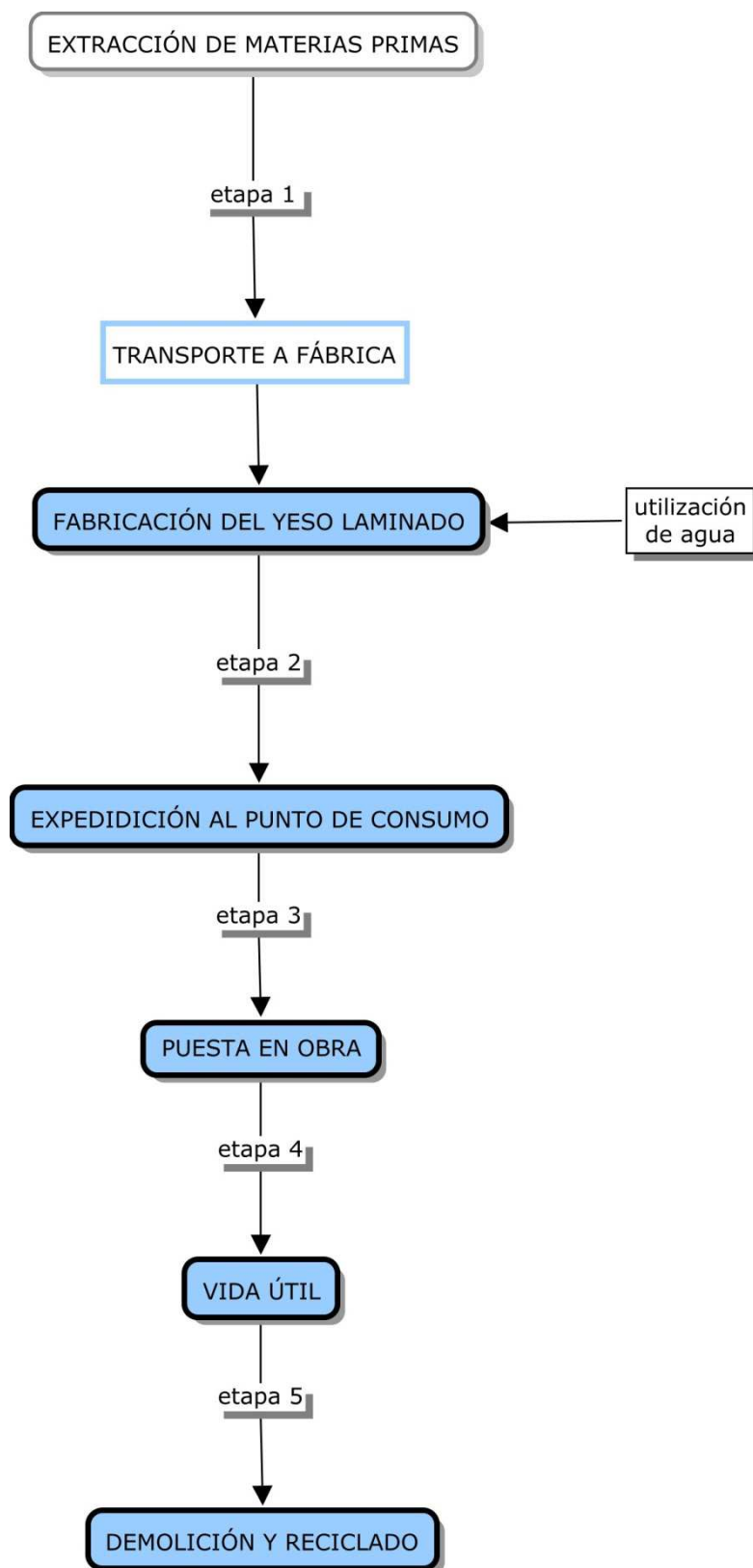


Figura 5.1.8: Árbol del ciclo de la vida del yeso laminado

## 8.2.2- Cálculo de datos

### **Etapa 1- Fabricación**

- Extracción de materias primas no se considerarán ni emisiones y consumo energético.

El consumo de agua en esta etapa es de 800 litros, ya que la relación agua/yeso escogida es de 0,8. Un kilogramo de agua tiene un consumo energético de 0,0060 MJ y unas emisiones de  $2,9 \cdot 10^{-4}$  [24]. En nuestro caso son 800 litros que por lo que la energía y las emisiones son de 4,8 MJ y 0,23 kg de CO<sub>2</sub>.

En la fabricación de una tonelada de yeso laminado se invierten 6279,13 MJ de energía y 359,13 kg de CO<sub>2</sub> [24].

### **Etapa 2- Expedición.**

Para el transporte del producto se ha optado por un camión de 20 toneladas. Su consumo de energía por hora es de 1.247,68 MJ y, su emisión de CO<sub>2</sub> es de 325,89 kg [24].

Los parámetros a seguir para el cálculo serán: 1 hora de transporte, por lo que el consumo de energía es de 62,38 MJ y la emisión de dióxido de carbono es de 16,29 kg.

### **Etapa 3- Puesta en obra**

Para esta etapa el trabajo realizado es prácticamente manual, con la salvedad de la utilización de herramientas como destornilladores o martillos. Por esta razón no se consideran ni emisiones ni consumo energético durante la colocación de las placas de yeso laminado.

### **Etapa 4- Vida útil**

En este caso no será necesario ningún tipo de intervención significativa a lo largo de su vida útil, limitada a 50 años. El consumo de energía y las emisiones se consideran nulas en esta etapa.

### **Etapa 5- Demolición y reciclado**

La realización de la demolición para el posterior reciclado del edificio, consiste en dos fases: la primera trata de demoler el edificio y enviar los escombros a una planta de residuos. Hay que tener en cuenta que las placas de yeso ya no es un material aislado, sino que forma parte de un conjunto, por lo que en la segunda etapa de reciclado los materiales reciben el mismo tratamiento.

Antes de comenzar la demolición con maquinaria, hay que tener en cuenta, que existe un trabajo manual previo consistente en, la retirada de instalaciones, carpinterías, vidrieras, etc. Durante esta fase las emisiones y los costes se consideran nulos.

Los materiales utilizados para la demolición son, una pala cargadora y una retroexcavadora. Los costes energéticos por hora de los materiales: 578,19 MJ y 456,47 MJ, respectivamente. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por hora son: 151,02 kg y 119,23 kg, respectivamente [24].

Para el transporte de los escombros se ha utilizado un camión de 5 toneladas, con un coste por hora de 365,17 MJ y unas emisiones de 95,38 kg de CO<sub>2</sub> por hora [24]. En nuestro análisis será un tonelada de material, por lo que, el coste energético para nuestros cálculos es de 73,03 MJ/h y las emisiones de CO<sub>2</sub> de 19,08 kg/h.



		ETAPAS	MATERIA PRIMA	COMBUSTIBLE	AGUA (l)	ENERGÍA (MJ)	CO <sub>2</sub> (kg/tn)
YESO LAMINADO	<b>ETAPA 1</b>						
		Extracción		-			
		Fabricación yeso	200 kg	105,12 m3 G.N.	800 l	6283,93 MJ	359,36 kg
	<b>ETAPA 2</b>						
		Expedición	-	5,84 l Gasoil		62,38 MJ	16,29 kg
	<b>ETAPA 3</b>						
		Puesta en obra	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 4</b>						
		Mantenimiento	-	-	-	-	-
	<b>ETAPA 5</b>						
		Retroexcavadora	-	42,74 l Gasoil	-	456,47 MJ	119,23 kg
		Pala cargadora	-	54,13 l Gasoil	-	578,19 MJ	151,02 kg
		Transporte	-	6,84 l Gasoil	-	73,03 MJ	19,08 kg
	<b>TOTAL</b>						
				109,55 l Gasoil	800 l	7454,00 MJ	664,98 kg

Tabla 5.1.8: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del yeso laminado.

### 8.3- EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)

#### 8.1.3- Elementos de la EICV

Indicador de impacto y cálculo de resultados:

Efecto invernadero, en apartados anteriores se comentó que una hectárea de bosque, con una densidad de 1000 árboles aproximadamente, absorbe unos 5000 kg de CO<sub>2</sub>, anualmente <sup>[15]</sup>. Ahora se procederá al cálculo para contrarrestar las emisiones del ciclo de vida del yeso laminado:

$$664,98 \text{ kg CO}_2 / 5000 \text{ kg CO}_2/\text{ha} = 0,13 \text{ ha} = 1300 \text{ m}^2$$

Se necesitan 1300 m<sup>2</sup> de bosque y 130 árboles aproximadamente.

Toxicidad, no se consideran sustancias tóxicas en esta análisis.

Agotamiento de recursos naturales, en la fabricación del yeso materiales más importantes son la piedra aljez y agua.

La piedra aljez o piedra de yeso es un recurso natural no renovable en un periodo corto de tiempo, pero no se teme por su agotamiento gracias, a su abundante existencia.

Además de estos recursos existen otros como el petróleo y gas natural tratados en el apartado IV.3.2 Proceso de Análisis del Ciclo de Vida, al igual que el agua.

Energía consumida, en el caso de las barras corrugadas la energía consumida total es de 7454,00 MJ. Ésta cantidad será comparada con dos parámetros:

Con una bombilla (18 W = 18 J/s):

$$7454,00 * 10^6 \text{ J} / 18 \text{ J/s} = 414,11 * 10^6 \text{ s} = 115030,56 \text{ horas} = 4792,94 \text{ días}$$

Con una vivienda tipo (5750 W = 5750 J/s):

$$7454,00 * 10^6 \text{ J} / 5750 \text{ J/s} = 1,30 * 10^6 \text{ s} = 361,11 \text{ horas.}$$

#### Generación de residuos sólidos y líquidos

Etapa 1- La información sobre los residuos producidos en esta etapa es poca o nula. Cabe decir que La industria del yeso necesita relativamente poca agua, pues al transcurrir los procesos a temperaturas bajas, no hace falta energía de refrigeración.

Etapa 2- No se tienen en cuenta residuos en esta etapa.

Etapa 3- Se desestiman residuos durante esta etapa.

Etapa 4- Se desestiman residuos durante la vida efectiva del material.

Etapa 5- El 100% del material es residuo.

## 8.4- INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA

### 8.4.1- Identificación de los asuntos significativos

Si se observa la tabla 5.1.8, la etapa más significativa, en energía consumida y emisiones de CO<sub>2</sub>, es la etapa 1, en concreto la fase de fabricación y en la etapa 5.

En la etapa 1 los datos han sido obtenidos del banco BEDEC.

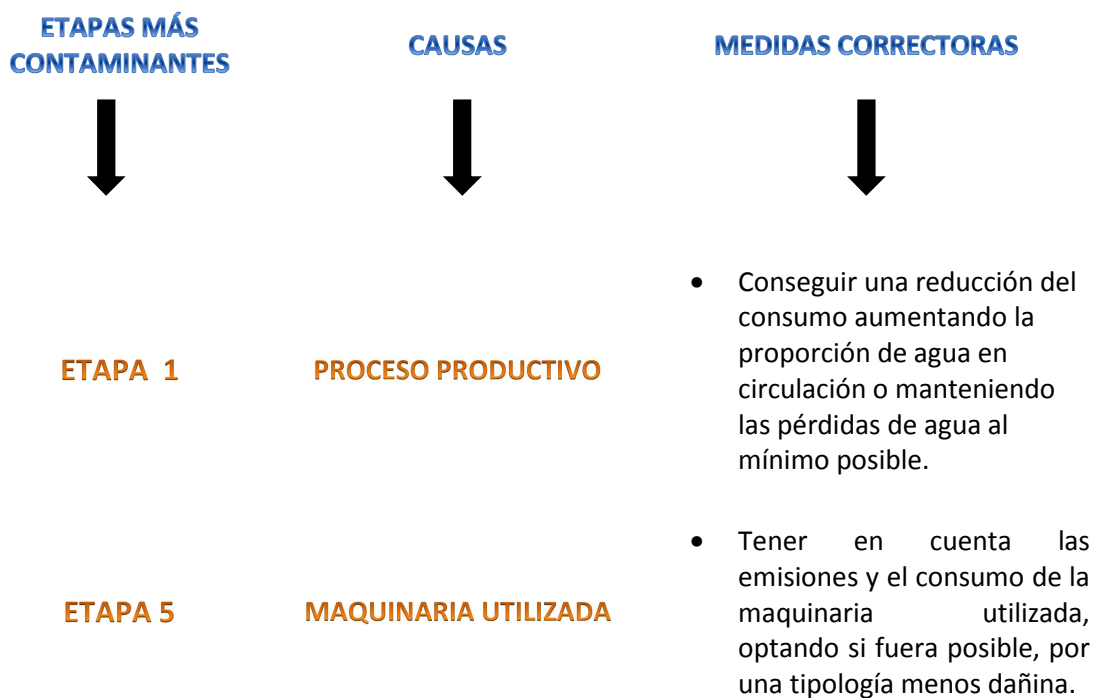
Una medida correctora, en cuanto al agua consumida es, conseguir una reducción del consumo aumentando la proporción de agua en circulación o manteniendo las pérdidas de agua al mínimo posible.

En regiones secas el consumo de agua de refrigeración puede reducirse mediante la instalación de precipitadores electrostáticos especiales, con capacidad de funcionamiento a las altas temperaturas del gas de escape

En la etapa 5 las emisiones y el consumo están relacionadas con la maquinaria utilizada. Las medidas, posibles, a emplear podrían ser utilizar máquinas en función de las emisiones que aportan a la atmósfera. Otra medida sería la implantación de una instalación de reciclado provisional, para transformar los escombros de origen pétreo en áridos, ahorrando el transporte.

### 8.4.2- Revisión crítica


Las fuentes, utilizados para la elaboración del ACV del yeso laminado han sido las páginas webs de las empresas Placo y Knauf y la base de datos del BEDEC. También se ha consultado la Asociación Técnica y empresarial de Yeso (ATEDY).




Esquema 5.1.8: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del yeso laminado

## V.2 FICHAS AMBIENTALES

En este apartado se resumen, en forma de ficha, los datos obtenidos del Análisis de Ciclo de Vida de los diferentes materiales estudiados del proyecto.

<b>CERÁMICA</b>	
<b>5.2.1 FICHA AMBIENTAL</b>	
	Para una tonelada de cerámica se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.
Kilogramos de dióxido de carbono	<b>485,24 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>4631,20 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>230 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>110,37 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>970 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>2977,89 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>223,73 horas</b>

<b>BARRAS CORRUGADAS</b>	
<b>5.2.2 FICHA AMBIENTAL</b>	
	Para una tonelada de barras corrugadas se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.
Kilogramos de dióxido de carbono	<b>2185,37 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>26825,07 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>95000 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>12,68 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>4400 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>17248,63 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>1295,89 horas</b>

## PERFILES LAMINADOS

### 5.2.3 FICHA AMBIENTAL



Para una tonelada de perfiles laminados se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>4651,4 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>53196,74 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>95000 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>233,49 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>9300 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>34205,72 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>2569,44 horas</b>

## MORTERO M10

### 5.2.4 FICHA AMBIENTAL



Para una tonelada de mortero se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>492,07 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>1946,43 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>8176 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>375,09 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>1000 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>1251,56 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>94,44 horas</b>

## HORMIGÓN (HA-35/P/20/IIb)

### 5.2.5 FICHA AMBIENTAL



Para una tonelada de hormigón se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>530,83 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>2148,18 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>6346,45 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>193,81 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>1100 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>1381,25 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>102,78 horas</b>

## LANA DE VIDRIO

### 5.2.6 FICHA AMBIENTAL

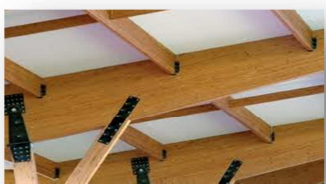


Para una tonelada de lana de vidrio se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>1782,82 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>49990,07 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>23125 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>109,55 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>3600 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>32143,87 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>2413,89 horas</b>

## MADERA LAMINADA

### 5.2.7 FICHA AMBIENTAL



Para una tonelada de madera laminada estructural se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>430,32 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>2718,07 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>1473,53 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>109,85 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>900 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>1747,69 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>130,56 horas</b>

## YESO LAMINADO

### 5.2.8 FICHA AMBIENTAL



Para una tonelada de yeso laminado estructural se dan los siguientes datos, en relación a su impacto ambiental.

Kilogramos de dióxido de carbono	<b>664,98 kg de CO<sub>2</sub></b>
Energía consumida (MJ)	<b>7454,00 MJ</b>
Cantidad de agua necesaria (l)	<b>800 l</b>
Cantidad de Gasoil (l)	<b>109,55 l</b>
Metros cuadrados de bosque	<b>1300 m<sup>2</sup></b>
Días de una bombilla encendida	<b>4792,94 días</b>
Horas de consumo de una vivienda	<b>361,11 horas</b>

### V.3 FICHAS COMPARATIVAS

#### V.3.1 FICHAS AMBIENTALES COMPARATIVAS DE TODOS LOS MATERIALES

En las siguientes fichas se comparan los parámetros estudiados de todos los materiales ordenados de menor a mayor.

##### V.3.1.1 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN CO<sub>2</sub> EMITIDO.



Tabla 5.3.1.1: Comparativa de materiales según CO<sub>2</sub> emitido.

##### V.3.1.2 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN ENERGÍA CONSUMIDA.



Tabla 5.3.1.2: Comparativa de materiales según energía consumida.



### V.3.1.3 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN CANTIDAD DE AGUA NECESARIA.



Tabla 5.3.1.3: Comparativa de materiales según cantidad de agua consumida.

### V.3.1.4 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN CANTIDAD DE GASOIL NECESARIO



Tabla 5.3.1.4: Comparativa de materiales según cantidad de gasoil gastado.

V.3.1.5 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN METROS CUADRADOS DE BOSQUE NECESARIOS.



Tabla 5.3.1.5: Comparativa de materiales según metros cuadrados de bosque necesarios.

V.3.1.6 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN DÍAS DE CONSUMO DE UNA BOMBILLA



Tabla 5.3.1.6: Comparativa de materiales según días de una bombilla necesarios.

### V.3.1.7 COMPARATIVA DE MATERIALES SEGÚN HORAS DE CONSUMO DE UNA VIVIENDA



Tabla 5.3.1.7: Comparativa de materiales según horas de consumo de una vivienda necesarias.

### V.3.2 FICHAS AMBIENTALES COMPARATIVAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A continuación se muestran unas fichas donde se han agrupado algunos de los materiales estudiados a fin de compararlos según su misión en el edificio.

#### V.3.2.1 COMPARATIVA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN FUNCIÓN DEL CO<sub>2</sub> EMITIDO.



Tabla 5.3.2.1: Comparativa de materiales estructurales según emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### V.3.2.2 COMPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA.



Tabla 5.3.2.2 Comparativa de materiales estructurales según energía consumida.

### V.3.3 FICHAS AMBIENTALES COMPARATIVA DE ELEMENTOS DIVISORIOS

#### V.3.3.1 COMPARACIÓN DE ELEMENTOS DIVISORIOS EN FUNCIÓN DEL CO<sub>2</sub> EMITIDO.



Tabla 5.3.3.1: Comparativa de elementos divisorios según emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### V.3.3.2 COMPARACIÓN DE ELEMENTOS DIVISORIOS EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA CONSUMIDA.



Tabla 5.3.3.2: Comparativa de elementos divisorios según energía consumida.

## CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES

En estos últimos años se ha venido hablando sobre el impacto causado por la construcción sobre el medio ambiente. Este hecho es indudable. De aquí parte la idea del proyecto, un análisis de algunos de los materiales más utilizados en la construcción, para evaluar de manera individual cuales son sus costes y emisiones, pudiendo hacernos con ello una idea del impacto provocado por el sector.

El método usado para dicho análisis ha sido el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Se han escogido cinco etapas, y dentro de cada una se han estudiado unos parámetros, como son: energía consumida, emisiones de dióxido de carbono, consumo de recursos naturales y de gasoil.

Para poder hacer de los datos obtenidos unos resultados interpretables, se han calculado los metros cuadrados de bosque que harían falta para paliar las emisiones producidas por cada material, los días que una bombilla estaría encendida, y las horas que una vivienda estaría a pleno rendimiento consumiendo la energía que necesita cada material, la generación de residuos sólidos y líquidos, y por último, la toxicidad de cada material.

Una vez analizado todo ello se han obtenido las siguientes conclusiones:

La primera de ellas hace referencia a la búsqueda de información. Esta tarea ha sido complicada debido a la escasa documentación, siendo en algunos casos nula. Son pocos los espacios que las empresas dedican a este asunto, y escasa la información sobre sus métodos. Algunas exponen una política medioambiental interna, publicando en revistas, artículos, etc, una reducción en tanto por ciento gracias a sus métodos actuales de producción. Lo sorprendente es que no saquen a la luz cifras de esa reducción, ya que si tienen porcentajes lo normal sería que también tuviesen números, dando a entender con ello que si no lo publican es porque no les interesa.

Otra reflexión es que todos o casi todos los materiales tienen en común la etapa 1 como la más contaminante, esta etapa corresponde a la extracción y fabricación. Para que esta etapa dejara de ser la más perjudicial haría falta un consenso entre empresas y gobierno, el cual, permitiera por ejemplo, potenciar la incorporación de energías renovables en las cadenas de producción, aumentar el reciclaje de materiales como materias primas, minimizar emisiones al aire, agua y suelo, es decir, acciones que puedan mejorar la situación, y que hoy por hoy no se implantan.

Los materiales elegidos, son unos de los más utilizados en la edificación hoy en día. Una vez estudiados cada uno por separado se han elaborado fichas comparativas con todos los parámetros estudiados. El dato más significativo de estas comparaciones es que el acero es el material que más energía consume y más emisiones de CO<sub>2</sub> emite, y por tanto el que más metros cuadrados de bosque, más días de una bombilla y más hora de una vivienda necesita. Sabiendo esto podrían emplearse para la construcción otros materiales como la madera cuyos resultados son inferiores o llevar a cabo soluciones dentro de las etapas más contaminantes, con el fin, de disminuir estos costes y emisiones.

En cuanto a las fichas comparativas de materiales con una misma misión dentro de una construcción, destacar que, el yeso consume más energía que la cerámica, sobre todo durante el proceso de fabricación. Aunque esto es cierto, hay que tener en cuenta los beneficios indiscutibles, del yeso, durante su uso en el edificio.

Las ventajas y desventajas de un material durante su uso no es objeto de este trabajo, aun así, a continuación se exponen unas de los principales beneficios que tiene el uso del yeso frente a otros materiales, como la cerámica.

El yeso mantiene un equilibrio hidrométrico respecto a la humedad ambiente. Su aplicación es más fácil y más rápida. La placa de yeso laminado contribuye a ahorrar energía en combinación con los materiales aislantes clásicos. Además se consigue un menor espesor y un aislamiento acústico y térmico muy superior al de tabiques tradicionales. Por último decir que estos tabiques permiten el paso sencillo y sin rozas de las canalizaciones de las diferentes instalaciones y que su montaje es, rápido y bastante limpio, pues apenas se producen escombros y polvo ya que no hay que utilizar mortero sino únicamente raíles o tornillos.

Como conclusión final, el análisis del ciclo de vida de los materiales, su consumo y emisiones, es un método que nos permite elegir un material u otro siendo conscientes de cual es la "huella" que dejará en la naturaleza, tras su fabricación, expedición, puesta en obra, vida útil, demolición y reciclado. Lo que se ha querido que quedara claro con este proyecto, es que hay alternativas, en cuanto a materiales, y soluciones en lo que se refiere a maquinaria, productos y recursos naturales, para hacer de éste un lugar más sostenible.

## GLOSARIO

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV):** recopilación y evaluación de las entradas y resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto durante su ciclo de vida.

**ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV):** fase del análisis del ciclo de vida que implica la recopilación y la cuantificación de entradas y resultados de un sistema del producto.

**ÁRBOL DEL CICLO DE VIDA:** esquema representativo de las entradas y salidas de materia y energía del sistema estudiado.

**CATEGORÍA DE IMPACTO:** clase que representa asuntos ambientales de interés, a la cual, se le pueden asignar los resultados del inventario del ciclo de vida.

**CICLO DE VIDA:** etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final.

**ETAPA:** conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman la materia prima en producto.

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV):** fase del análisis del ciclo de vida que tiene el objetivo de evaluar la magnitud y cómo de significativos son los impactos ambientales de un sistema del producto a lo largo de todo su ciclo de vida.

**INDICADOR DE CATEGORÍA DE IMPACTO:** representación cuantificable de una categoría de impacto.

**LIMITES DEL SISTEMA:** conjunto de criterios que limitan los procesos unitarios que formarán parte de un sistema de producto.

**PRODUCTO:** cualquier bien o servicio.

**RECURSOS NATURALES:** bienes materiales y servicios que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano, siendo valiosos para las sociedades humanas por contribuir a su bienestar y desarrollo de manera directa (materias primas, minerales, alimentos) o indirecta (servicios ecológicos indispensables para la continuidad de la vida en el planeta).

**RESIDUO:** cualquier sustancia u objeto del cual, su poseedor, se desprende o tenga obligación de desprenderse, en virtud de las disposiciones en vigor.

**REVISIÓN CRÍTICA:** proceso que pretende asegurar la coherencia entre un análisis del ciclo de vida y los principios y requisitos de las normas internacionales.

**SISTEMA DEL PRODUCTO:** conjunto de procesos unitarios que sirven de modelo para el ACV de un producto.

**UNIDAD FUNCIONAL:** unidad de referencia de un sistema de producto.

**VIDA EFECTIVA:** duración del producto.



## ACRÓNIMOS

ACV: Análisis del Ciclo de Vida.

AITEMIN (Asociación para la Investigación y Desarrollo Industrial de los Recursos Naturales): Centro Tecnológico de carácter privado y sin ánimo de lucro, cuya actividad se desarrolla fundamentalmente en los sectores de las industrias extractivas, la construcción y el medio ambiente. Las actividades abarcan tanto la realización de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico como la prestación de servicios técnicos de variada índole a las empresas, organismos, y administraciones públicas.

ANFTA (Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros): La Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros, ANFTA, constituida en 1962, es una entidad sin fines de lucro que surge por la necesidad del Sector en promover el desarrollo y progreso de las industrias dedicadas a la producción de tableros derivados de la madera. Engloba a toda la industria española de fabricación del tablero de fibras y del tablero de partículas de madera.

AOP (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos): la asociación está formada por la mayoría de empresas de explotación y extracción de petróleo y por las empresas distribuidoras de combustibles.

ATEDY (Asociación Técnica y Empresarial del Yeso). Es una asociación de ámbito nacional que engloba a fabricantes de yesos, escayolas y sus derivados. Nació en el año 1973, denominándose entonces, Asociación Española para el Desarrollo del Yeso. A partir de 1993 cambió su denominación a la forma actual.

BREF: documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles creado por la EPA.

CREAF (Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales): centro público de investigación creado en 1987 por la Generalitat de Catalunya, la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y el Instituto de Estudios Catalanes (IEC).

EICV: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

EPA: agencia de protección medioambiental de los Estados Unidos. La agencia dirige las ciencias ambientales de la nación, así como también los esfuerzos investigadores, educativos y de evaluación.

E-PRTR (European Pollutants Release and Transfer Register): Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. El Reglamento E-PRTR establece a escala comunitaria un registro de emisiones y transferencias de contaminantes integrado en forma de base de datos electrónica accesible al público, y determina las normas para su funcionamiento ([www.prtr.ec.europa.eu](http://www.prtr.ec.europa.eu)).

ICV: Análisis del Inventario del Ciclo del Vida.

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 5.1.1: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la cerámica....	32
Esquema 5.1.2: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de las barras corrugadas.....	39
Esquema 5.1.3: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de los perfiles laminados .....	46
Esquema 5.1.4: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del mortero.....	53
Esquema 5.1.5: Resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del hormigón .....	60
Esquema 5.1.6: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la lana de vidrio .....	68
Esquema 5.1.7: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida de la madera.....	76
Esquema 5.1.8: Cuadro resumen de la fase de Interpretación del ciclo de vida del yeso laminado.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1.1: Árbol del ciclo de vida de la cerámica .....	27
Figura 5.1.2: Árbol del ciclo de la vida de las barras corrugadas .....	34
Figura 5.1.3: Árbol del ciclo de la vida de los perfiles laminados.....	41
Figura 5.1.4: Árbol del ciclo de la vida del mortero .....	48
Figura 5.1.5: Árbol del ciclo de la vida del hormigón .....	55
Figura 5.1.6: Árbol del ciclo de vida de la lana de vidrio.....	62
Figura 5.1.7: Árbol del ciclo de vida de la madera .....	70
Figura 5.1.8: Árbol del ciclo de la vida del yeso laminado .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1.1: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la cerámica.....	29
Tabla 5.1.2: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de las barras corrugadas.....	36
Tabla 5.1.3: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de los perfiles laminados.....	43
Tabla 4.1: Relación entre volumen y peso del hormigón.....	47

Tabla 5.1.4: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del mortero.....	50
Tabla 5.1: Relación entre volumen y peso del hormigón.....	54
Tabla 5.1.5: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del hormigón .....	57
Tabla 5.1.6: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la lana de vidrio .....	64
Tabla 5.1.7: Recursos naturales, energía consumida y emisiones de la madera.....	72
Tabla 5.1.8: Recursos naturales, energía consumida y emisiones del yeso laminado.....	80

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR. *Gestión Medioambiental*. ISO 14040, ISO 14044. Madrid: AENOR, 2006.
- [2] Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA). *Contaminación aérea* [En línea] <<http://www.epa.gov>>
- [3] Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). *Recursos naturales* [En línea] <<http://www.eea.europa.eu/es>>
- [4] Arcelor Mittal, compañía de siderurgia mundial. *Consumo energético en la fabricación de acero* [En línea] <<http://www.acelormittal.com>>
- [5] Asociación para la Promoción Técnica del Acero (APTA). *El ciclo de vida del acero* [En línea] <<http://www.apta.com.es>>
- [6] Asociación de Fabricantes de Lanos Minerales Aislantes (AFELMA). *Proceso de fabricación de la lana de vidrio* [En línea] <<http://www.aislar.com>>
- [7] Asociación Española de Fabricantes de Ladrillo y Tejas de Arcilla Cocida (HISPALYT). *Proceso de fabricación del ladrillo* [En línea] <<http://www.hispalyt.es>>
- [8] Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP). *El petróleo* [En línea] <<http://www.aop.es>>
- [9] Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros (AFAM). [En línea] <<http://www.afam-morteros.com>>
- [10] Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros (ANFTA). *ENTABLA con el medio ambiente* [En línea] <<http://www.anfta.es>>
- [11] Asociación para la Investigación y el Desarrollo Industrial de los Recursos Naturales (AITEMIN). *Investigación y desarrollo* [En línea] <<http://aitemin.es>>
- [12] Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY). *Ejecución de revestimientos con yeso* [En línea] <<http://www.atedy.es>>
- [13] BOUSO, Juan Luis. *El consumo de agua en el lavado de áridos*. Ed. Canteras y explotaciones.
- [14] Cemex. [En línea] <<http://www.cemex.es>>
- [15] Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). *Contaminación del aire* [En línea] <<http://www.creaf.uab.es>>
- [16] Código Técnico de la Edificación. [En línea] <<http://www.codigotecnico.org>>
- [17] Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción (CEPCO). *Residuos de la construcción y demolición* [En línea] <<http://www.cepco.es>>
- [18] CONSEJERÍA de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. *Guía de apoyo para la notificación de la industria de fabricación de cemento y/o clínquer*.

[19] CONSEJERÍA de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. *Guía de apoyo para la notificación de la industria de fabricación de elementos cerámicos de construcción.*

[20] DEPARTAMENTO de Agricultura, Pesca y Alimentación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. *Madera y Cambio Climático.* Colección LUR Nº 14. Vitoria-Gasteiz: 2009

[21] EXPOSICIÓN Universal de Zaragoza. Los Tesoros del Agua. Zaragoza: 2009

[22] HOLTZA, Grupo. Elaboración de madera estructural [En línea] <<http://www.holtza.es>>

[23] Ingeniería Genética General. *Calculadora de CO<sub>2</sub>* [En línea] <<http://www.energianow.com>>

[24] Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). *Base de datos Bedec* [En línea] <<http://www.itec.cat>>

[25] Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). *Proceso de fabricación del cemento* [En línea] <<http://www.ieca.es>>

[26] Instituto para la promoción de Armaduras Certificadas (IPAC). *Proceso de fabricación del acero* [En línea] <<http://www.ipac.es>>

[27] Laboratorio del Centro de Estudios e Investigadores Ambientales (UIS-IDEAM). Universidad de Santander. *Proceso de fabricación de la cerámica* [En línea] <<http://www.uisedu.com>>

[28] KNAUF. *Elaboración de placas de yeso laminadas* [En línea] <<http://www.knauf.es>>

[29] MINISTERIO de Empleo y Seguridad Social (España). *Manual de buenas prácticas en la familia profesional: Industria de la Madera y Corcho.*

[30] MINISTERIO de Fomento (España). *Instrucción de hormigón estructural (EHE 2008)* [En línea] <<http://www.fomento.es>>

[31] MINISTERIO de Medio Ambiente (España). *Guía de Mejoras Técnicas Disponibles en España del Sector de la Fabricación del Vidrio.*

[32] PLACO. *La Placa de Yeso Laminado* [En línea] <<http://www.placo.es>>

[33] SOLANAS, R., Calatayud, D., Claret, C. *34 kg de CO<sub>2</sub>*. Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña.

## ANEXOS

### ANEXO I

En este anexo se amplía la información del Capítulo III del proyecto, en relación a la composición, fabricación y agua en la fabricación de cada uno de los materiales.

#### III.1 CERÁMICA

##### III.1.1 Composición

El componente principal para la elaboración del ladrillo es la arcilla. Está constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural que dura decenas de miles de años.

##### III.1.2 Fabricación

El proceso de fabricación industrial de los materiales cerámicos ha evolucionado notablemente en los últimos años.

El proceso contempla las siguientes etapas:

###### 1. Extracción de arcillas.

La extracción de arcillas se realiza en canteras y bajo estrictos controles de seguridad y respeto medioambiental. Una vez explotadas las canteras, estas se regeneran para diferentes usos, preferentemente agrícolas.

###### 2. Transporte a fábrica.

Las canteras deben estar situadas cerca de las fábricas, aunque en ocasiones es necesario el transporte de la materia prima varios kilómetros. El transporte puede dividirse en dos tipos:

- Transporte de vía fija, es un sistema de vagonetes accionados por motores eléctricos o de gasoil que forman una cadena.
- Transporte de vía libre, mediante la utilización de dumpers.

###### 3. Molienda.

Tras la primera mezcla, el proceso de la molienda permite obtener el tamaño deseado de la materia prima para que pueda ser trabajada a continuación. La molienda puede ser realizada por vía seca o vía húmeda. Si se elige la primera opción, se fragmenta la arcilla a la vez que se mantienen los agregados y aglomerados de partículas, con un tamaño de partículas mayor al que resulta de utilizar la molienda por vía húmeda.

###### 4. Amasado.

El proceso de amasado consiste en el mezclado íntimo con agua de las materias primas de la composición de la pasta, para obtener una masa plástica moldeable por extrusión.

###### 5. Moldeo.

Actualmente se realiza el moldeo con máquinas, llamadas galleteras, que permiten obtener productos cerámicos en serie con la mayor calidad y medidas perfectas. Con este sistema, se reduce el consumo de agua en la industria y se puede trabajar con pastas cerámicas más secas.

#### 6. Cortar y apilar.

Tras su paso por la galletera, el material cerámico se corta y apila, antes de su paso por los hornos de cocción. Las cortadoras son las que dan forma a la pieza cerámica que se va a producir.

#### 7. Secado.

Una vez cortado es conveniente eliminar el contenido de agua del material, ya que, si se introduce directamente en el horno, podrían producir fisuras. Existen diferentes máquinas de secado pero es habitual que se reutilice el calor que desprende el horno de cocción.

#### 8. Cocción.

Las piezas cerámicas se han apilado en vagonetas que se introducen en los hornos de cocción cerámica. En primer lugar se eleva la temperatura. Después la temperatura alcanzada es de entre 450-650 para eliminar el agua de constitución de la arcilla, es decir, la arcilla deja de ser plástica y ya no podrá ser moldeada de nuevo. Entre los 350-900 da lugar la oxidación y la evaporación de sulfatos y carbonatos.

#### 9. Empaquetado.

Los materiales cerámicos se empaquetan y almacenan para su posterior comercialización. En algunas empresas, esta función está robotizada.

#### 10. Expedición.

Transporte de los materiales cerámicos al punto de consumo o venta.

### **III.1.3 Agua durante la fabricación**

El consumo de agua es mínimo en el proceso de fabricación gracias a las instalaciones modernas que se utilizan. Estas tienen unos circuitos cerrados que recuperan el agua, la filtran y la reciclan. En el momento del moldeo, la cerámica contiene la mayor cantidad de agua y se sitúa entre un 15-20% del peso de la materia. Si tenemos una tonelada de materia el agua de moldeo corresponde a 200 kg. Esta cantidad de agua se evapora de la pieza en el momento de la cocción, donde se recupera el vapor de agua y se recicla para otros procesos.

En cuanto a las aguas residuales del proceso de fabricación decir, que se generan sobre todo por el lavado y suspensión de los materiales arcillosos en agua corriente y la limpieza de equipos. Los objetivos y soluciones para reducir las aguas del proceso se presentan en forma de medidas de optimización del proceso y sistemas de tratamiento de aguas residuales. La reducción de los vertidos y la disminución del consumo pueden lograrse mediante la aplicación de una combinación de esas medidas.

## III.2 BARRAS DE ACERO CORRUGADO

### III.2.1 Composición

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

-El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno alto (proceso integral).

-La chatarra (proceso no integral), atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Chatarra reciclada: formada por despuntes, rechazos, etc. originados en la propia fábrica. Se trata de una chatarra de excelente calidad.
- Chatarra de transformación: producida durante la fabricación de piezas y componentes de acero (virutas de máquinas herramientas, recortes de prensas y guillotinas, etc.).
- Chatarra de recuperación: suele ser la mayor parte de la chatarra que se emplea en la acería y procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, etc.

### III.2.2 Fabricación

El proceso de fabricación lo define el tipo de materia prima utilizada. En líneas generales, los dos procesos para la fabricación del acero son, el integral y el no integral. En el primero se desarrolla el proceso completo, es decir, se parte directamente de los minerales, según se extraen de la naturaleza, vía horno alto, mientras que el segundo proceso, vía horno eléctrico, la materia prima consiste en diversas chatarras.

En la actualidad, entre el 60% y 65% del acero se fabrica en hornos altos. En el caso español la utilización del horno de arco eléctrico es mayoritaria.

La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000 °C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

#### Principales reacciones químicas en el afino

Elemento	Forma de eliminación	Reacción química
Carbono	Al combinarse con el oxígeno se quema dando lugar a CO y CO <sub>2</sub> gaseoso que se elimina a través de los humos.	$2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$
Manganeso	Se oxida y pasa a la escoria. Combinado con sílice da lugar a silicatos.	$2 Mn + O_2 \rightarrow 2 MnO$ $MnO + SiO_2 \rightarrow \text{silicatos}$
Silicio	Se oxida y pasa a la escoria. Forma silicatos	$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$ $SiO_2 + \text{óxidos} \rightarrow \text{silicatos}$



Fósforo	En una primera fase se oxida y pasa a la escoria. En presencia de carbono y altas temperaturas puede revertir al baño. Para fijarlo a la escoria se añade cal formándose fosfato de calcio.	$4 P + 5 O_2 \rightarrow 2 P_2O_5$ $P_2O_5 + 5 C \rightarrow 2 P + 5 CO$ $2 P + 5 FeO + 3 CaO \rightarrow P_2O_5 \cdot 3 CaO + 5 Fe$
Azufre	Su eliminación debe realizarse mediante el aporte de cal, pasando a la escoria en forma de sulfuro de calcio. La presencia de manganeso favorece la desulfuración.	$S + Fe + CaO \rightarrow FeO + SCa$ $S + Fe + MnO \rightarrow SMn + FeO$ $S + Fe + Mn \rightarrow SMn + Fe$

*La fabricación del acero en horno eléctrico* se base en la fusión de las chatarras por medio de una corriente eléctrica, y al afino posterior del baño fundido.

El horno eléctrico consiste en un gran recipiente cilíndrico de chapa gruesa (15 a 30 mm de espesor) forrado de material refractario que forma la solera que alberga el baño de acero líquido y escoria. El resto del horno está formado por paneles refrigerados por agua. La bóveda es desplazable para permitir la carga de la chatarra a través de unas cestas adecuadas.

La bóveda está dotada de una serie de orificios por los que se introducen los electrodos, generalmente tres, que son gruesas barras de grafito de hasta 700 mm de diámetro. Los electrodos se desplazan de forma que se puede regular su distancia a la carga a medida que se van consumiendo.

Los electrodos están conectados a un transformador que proporciona unas condiciones de voltaje e intensidad adecuadas para hacer saltar el arco, con intensidad variable, en función de la fase de operación del horno.

Otro orificio practicado en la bóveda permite la captación de humos, que son depurados convenientemente para evitar contaminar la atmósfera. El horno va montado sobre una estructura oscilante que le permite bascular para proceder al sangrado de la escoria y el vaciado del baño.

El proceso de fabricación se divide básicamente en dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

### 1. Fase de fusión

Una vez introducida la chatarra en el horno y los agentes reactivos y escorificantes (principalmente cal) se desplaza la bóveda hasta cerrar el horno y se bajan los electrodos hasta la distancia apropiada, haciéndose saltar el arco hasta fundir completamente los materiales cargados. El proceso se repite hasta completar la capacidad del horno, constituyendo este acero una colada.

### 2. Fase de afino

El afino se lleva a cabo en dos etapas. La primera en el propio horno y la segunda en un horno cuchara. En el primer afino se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables (silicio, manganeso, fósforo, etc.) y realizar un primer ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios (cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.).

El acero obtenido se vacía en una cuchara de colada, revestida de material refractario, que hace la función de cuba de un segundo horno de afino en el que termina de ajustarse la composición del acero y de dársele la temperatura adecuada para la siguiente fase en el proceso de fabricación.

### 3. La colada continua

Finalizado el afino la cuchara de colada se lleva hasta la artesa receptora de la colada continua donde vacía su contenido en una artesa receptora dispuesta al efecto.

La colada continua es un procedimiento siderúrgico en el que el acero se vierte directamente en un molde de fondo desplazable, cuya sección transversal tiene la forma geométrica del semiproducto que se desea fabricar; en nuestro caso la palanquilla.

La artesa receptora tiene un orificio de fondo, o buza, por el que distribuye el acero líquido en varias líneas de colada, cada una de las cuales dispone de su lingotera o molde, generalmente de cobre y paredes huecas para permitir su refrigeración con agua, que sirve para dar forma al producto. Durante el proceso la lingotera se mueve alternativamente hacia arriba y hacia abajo, con el fin de despegar la costra sólida que se va formando durante el enfriamiento.

Posteriormente se aplica un sistema de enfriamiento controlado por medio de duchas de agua fría primero, y al aire después, cortándose el semiproducto en las longitudes deseadas mediante sopletes que se desplazan durante el corte.

En todo momento el semiproducto se encuentra en movimiento continuo gracias a los rodillos de arrastre dispuestos a los largo de todo el sistema.

Finalmente, se identifican todas las palanquillas con el número de referencia de la colada a la que pertenecen, como parte del sistema implantado para determinar la trazabilidad del producto, vigilándose la cuadratura de su sección, la sanidad interna, la ausencia de defectos externos y la longitud obtenida.

### 4. La laminación

Las palanquillas no son utilizables directamente, debiendo transformarse en productos comerciales por medio de la laminación o forja en caliente.

De forma simple, podríamos describir la laminación como un proceso en el que se hace pasar al semiproducto (palanquilla) entre dos rodillos o cilindros, que giran a la misma velocidad y en sentidos contrarios, reduciendo su sección transversal gracias a la presión ejercida por éstos. En este proceso se aprovecha la ductilidad del acero, es decir, su capacidad de deformarse, tanto mayor cuanto mayor es su temperatura. De ahí que la laminación en caliente se realice a temperaturas comprendidas entre 1.250 °C, al inicio del proceso, y 800 °C al final del mismo.

La laminación sólo permite obtener productos de sección constante, como es el caso de las barras corrugadas.

El proceso comienza elevando la temperatura de las palanquillas hasta un valor óptimo para ser introducidas en el tren de laminación. Generalmente estos hornos son de gas y en ellos se distinguen tres zonas: de precalentamiento, de calentamiento y de homogeneización. El paso de las palanquillas de una zona a otra se realiza por medio de distintos dispositivos de avance. La atmósfera en el interior del horno es oxidante, con el fin de reducir al máximo la formación de cascarilla.

Alcanzada la temperatura deseada en toda la masa de la palanquilla, ésta es conducida a través de un camino de rodillos hasta el tren de laminación.

El tren de laminación está formado, como se ha indicado, por parejas de cilindros que van reduciendo la sección de la palanquilla. Primero de la forma cuadrada a forma de óvalo, y después de forma de óvalo a forma redonda. A medida que disminuye la sección, aumenta la longitud del producto transformado y, por tanto, la velocidad de laminación. El tren se controla de forma automática, de forma que la velocidad de las distintas cajas que lo componen va aumentando en la misma proporción en la que se redujo la sección en la anterior.

El tren de laminación se divide en tres partes:

- Tren de desbaste: donde la palanquilla sufre una primera pasada muy ligera para romper y eliminar la posible capa de cascarilla formada durante su permanencia en el horno.
- Tren intermedio: formado por distintas cajas en las que se va conformando por medio de sucesivas pasadas la sección.
- Tren acabador: donde el producto experimenta su última pasada y obtiene su geometría de corrugado.

Las barras ya laminadas se depositan en una gran placa o lecho de enfriamiento, de donde es trasladado a las líneas de corte a medida y empaquetado, de donde pasa a la zona de almacenamiento y expedición.

En el caso de la laminación de rollos, éstos salen del tren acabador en forma de espira, siendo transportados por una cinta enfriadora, desde la que van siendo depositadas en un huso, donde se compacta y se ata para su expedición, o bien se lleva a una zona de encarretado, donde se forman bobinas en carrete.

Durante la laminación se controlan los distintos parámetros que determinarán la calidad del producto final: la temperatura inicial de las palanquillas, el grado de deformación de cada pasada —para evitar que una deformación excesiva de lugar a roturas o agrietamientos del material—, así como el grado de reducción final, que define el grado de forja, y sobre todo el sistema Temcore de enfriamiento controlado.

### **III.2.3 Agua durante la fabricación**

Existe una publicación editada en 2008 con el nombre de “Los Tesoros del Agua”, en la que se expone que, para la fabricación de una tonelada de acero son necesarios 95000 litros de agua. Si bien es cierto que esta cantidad es consumida principalmente en la refrigeración del horno eléctrico y para la pieza en la colada continua.

### III.3 PERFILES DE ACERO LAMINADO

#### III.3.1 Composición

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas fundamentales:

-El arrabio, obtenido a partir de mineral en instalaciones dotadas de horno alto (proceso integral).

-La chatarra, atendiendo a su procedencia, la chatarra se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Chatarra reciclada: formada por despuntes, rechazos, etc. originados en la propia fábrica. Se trata de una chatarra de excelente calidad.
- Chatarra de transformación: producida durante la fabricación de piezas y componentes de acero (virutas de máquinas herramientas, recortes de prensas y guillotinas, etc.).
- Chatarra de recuperación: suele ser la mayor parte de la chatarra que se emplea en la acería y procede del desguace de edificios con estructura de acero, plantas industriales, barcos, automóviles, electrodomésticos, etc.

#### III.3.2 Fabricación

La obtención del acero pasa por la eliminación de las impurezas que se encuentran en el arrabio o en las chatarras, y por el control, dentro de unos límites especificados según el tipo de acero, de los contenidos de los elementos que influyen en sus propiedades.

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de fabricación del acero requieren temperaturas superiores a los 1000 °C para poder eliminar las sustancias perjudiciales, bien en forma gaseosa o bien trasladándolas del baño a la escoria.

#### Principales reacciones químicas en el afino

Elemento	Forma de eliminación	Reacción química
Carbono	Al combinarse con el oxígeno se quema dando lugar a CO y CO <sub>2</sub> gaseoso que se elimina a través de los humos.	$2 C + O_2 \rightarrow 2 CO$ $2 CO + O_2 \rightarrow 2 CO_2$
Manganeso	Se oxida y pasa a la escoria. Combinado con sílice da lugar a silicatos.	$2 Mn + O_2 \rightarrow 2 MnO$ $MnO + SiO_2 \rightarrow \text{silicatos}$
Silicio	Se oxida y pasa a la escoria. Forma silicatos	$Si + O_2 \rightarrow SiO_2$ $SiO_2 + \text{óxidos} \rightarrow \text{silicatos}$
Fósforo	En una primera fase se oxida y pasa a la escoria. En presencia de carbono y altas temperaturas puede revertir al baño. Para fijarlo a la escoria se añade cal formándose fosfato de calcio.	$4 P + 5 O_2 \rightarrow 2 P_2O_5$ $P_2O_5 + 5 C \rightarrow 2 P + 5 CO$ $2 P + 5 FeO + 3 CaO \rightarrow P_2O_5 \cdot 3 CaO + 5 Fe$

Azufre	Su eliminación debe realizarse mediante el aporte de cal, pasando a la escoria en forma de sulfuro de calcio. La presencia de manganeso favorece la desulfuración.	$\text{S} + \text{Fe} + \text{CaO} \rightarrow \text{FeO} + \text{SCa}$ $\text{S} + \text{Fe} + \text{MnO} \rightarrow \text{SMn} + \text{FeO}$ $\text{S} + \text{Fe} + \text{Mn} \rightarrow \text{SMn} + \text{Fe}$
--------	--	---

La fabricación del acero en horno eléctrico se base en la fusión de las chatarras por medio de una corriente eléctrica, y al afino posterior del baño fundido.

El horno eléctrico consiste en un gran recipiente cilíndrico de chapa gruesa (15 a 30 mm de espesor) forrado de material refractario que forma la solera que alberga el baño de acero líquido y escoria. El resto del horno está formado por paneles refrigerados por agua. La bóveda es desplazable para permitir la carga de la chatarra a través de unas cestas adecuadas.

La bóveda está dotada de una serie de orificios por los que se introducen los electrodos, generalmente tres, que son gruesas barras de grafito de hasta 700 mm de diámetro. Los electrodos se desplazan de forma que se puede regular su distancia a la carga a medida que se van consumiendo.

Los electrodos están conectados a un transformador que proporciona unas condiciones de voltaje e intensidad adecuadas para hacer saltar el arco, con intensidad variable, en función de la fase de operación del horno.

Otro orificio practicado en la bóveda permite la captación de humos, que son depurados convenientemente para evitar contaminar la atmósfera. El horno va montado sobre una estructura oscilante que le permite bascular para proceder al sangrado de la escoria y el vaciado del baño.

El proceso de fabricación se divide básicamente en dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

### 1. Fase de fusión

Una vez introducida la chatarra en el horno y los agentes reactivos y escorificantes (principalmente cal) se desplaza la bóveda hasta cerrar el horno y se bajan los electrodos hasta la distancia apropiada, haciéndose saltar el arco hasta fundir completamente los materiales cargados. El proceso se repite hasta completar la capacidad del horno, constituyendo este acero una colada.

### 2. Fase de afino

El afino se lleva a cabo en dos etapas. La primera en el propio horno y la segunda en un horno cuchara. En el primer afino se analiza la composición del baño fundido y se procede a la eliminación de impurezas y elementos indeseables (silicio, manganeso, fósforo, etc.) y realizar un primer ajuste de la composición química por medio de la adición de ferroaleaciones que contienen los elementos necesarios (cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.).

El acero obtenido se vacía en una cuchara de colada, revestida de material refractario, que hace la función de cuba de un segundo horno de afino en el que termina de ajustarse la composición del acero y de dársele la temperatura adecuada para la siguiente fase en el proceso de fabricación.

### 3. La colada continua

Finalizado el afino la cuchara de colada se lleva hasta la artesa receptora de la colada continua donde vacía su contenido en una artesa receptora dispuesta al efecto.

La colada continua es un procedimiento siderúrgico en el que el acero se vierte directamente en un molde de fondo desplazable, cuya sección transversal tiene la forma geométrica del semiproducto que se desea fabricar; en nuestro caso la palanquilla.

La artesa receptora tiene un orificio de fondo, o buza, por el que distribuye el acero líquido en varias líneas de colada, cada una de las cuales dispone de su lingotera o molde, generalmente de cobre y paredes huecas para permitir su refrigeración con agua, que sirve para dar forma al producto. Durante el proceso la lingotera se mueve alternativamente hacia arriba y hacia abajo, con el fin de despegar la costra sólida que se va formando durante el enfriamiento.

Posteriormente se aplica un sistema de enfriamiento controlado por medio de duchas de agua fría primero, y al aire después, cortándose el semiproducto en las longitudes deseadas mediante sopletes que se desplazan durante el corte.

En todo momento el semiproducto se encuentra en movimiento continuo gracias a los rodillos de arrastre dispuestos a lo largo de todo el sistema.

Finalmente, se identifican todas las palanquillas con el número de referencia de la colada a la que pertenecen, como parte del sistema implantado para determinar la trazabilidad del producto, vigilándose la cuadratura de su sección, la sanidad interna, la ausencia de defectos externos y la longitud obtenida.

#### 4. La laminación

Las palanquillas no son utilizables directamente, debiendo transformarse en productos comerciales por medio de la laminación o forja en caliente.

De forma simple, podríamos describir la laminación como un proceso en el que se hace pasar al semiproducto (palanquilla) entre dos rodillos o cilindros, que giran a la misma velocidad y en sentidos contrarios, reduciendo su sección transversal gracias a la presión ejercida por éstos. En este proceso se aprovecha la ductilidad del acero, es decir, su capacidad de deformarse, tanto mayor cuanto mayor es su temperatura. De ahí que la laminación en caliente se realice a temperaturas comprendidas entre 1.250 °C, al inicio del proceso, y 800 °C al final del mismo.

La laminación sólo permite obtener productos de sección constante.

El proceso comienza elevando la temperatura de las palanquillas hasta un valor óptimo para ser introducidas en el tren de laminación. Generalmente estos hornos son de gas y en ellos se distinguen tres zonas: de precalentamiento, de calentamiento y de homogeneización. El paso de las palanquillas de una zona a otra se realiza por medio de distintos dispositivos de avance. La atmósfera en el interior del horno es oxidante, con el fin de reducir al máximo la formación de cascarilla.

Alcanzada la temperatura deseada en toda la masa de la palanquilla, ésta es conducida a través de un camino de rodillos hasta el tren de laminación.

El tren de laminación está formado, como se ha indicado, por parejas de cilindros que van reduciendo la sección de la palanquilla. Primero de la forma cuadrada a forma de óvalo, y después de forma de óvalo a forma redonda. A medida que disminuye la sección, aumenta la longitud del producto transformado y, por tanto, la velocidad de laminación. El tren se controla de forma automática, de forma que la velocidad de las distintas cajas que lo

componen va aumentando en la misma proporción en la que se redujo la sección en la anterior.

El tren de laminación se divide en tres partes:

- Tren de desbaste: donde la palanquilla sufre una primera pasada muy ligera para romper y eliminar la posible capa de cascarilla formada durante su permanencia en el horno.
- Tren intermedio: formado por distintas cajas en las que se va conformando por medio de sucesivas pasadas la sección.
- Tren acabador: donde el producto experimenta su última pasada y obtiene su geometría de corrugado.

El producto ya laminado se deposita en una gran placa o lecho de enfriamiento, de donde es trasladado a las líneas de corte a medida y empaquetado, de donde pasa a la zona de almacenamiento y expedición.

En el caso de la laminación de rollos, éstos salen del tren acabador en forma de espira, siendo transportados por una cinta enfriadora, desde la que van siendo depositadas en un huso, donde se compacta y se ata para su expedición, o bien se lleva a una zona de encarretado, donde se forman bobinas en carrete.

Durante la laminación se controlan los distintos parámetros que determinarán la calidad del producto final: la temperatura inicial de las palanquillas, el grado de deformación de cada pasada —para evitar que una deformación excesiva de lugar a roturas o agrietamientos del material—, así como el grado de reducción final, que define el grado de forja, y sobre todo el sistema de enfriamiento controlado.

### **III.3.3 Agua durante la fabricación**

Existe una publicación editada en 2008 con el nombre de “Los Tesoros del Agua”, en la que se expone que, para la fabricación de una tonelada de acero son necesarios 95000 litros de agua. Si bien es cierto que esta cantidad es consumida principalmente en la refrigeración del horno eléctrico y para la pieza en la colada continua.

### III.4 MORTERO M10

#### III.4.1 Composición

El mortero M10 se compone básicamente de:

- Cemento Pórtland
- Arena
- Agua

Su resistencia es de 10 N/mm<sup>2</sup> y se utiliza en fábricas de ladrillo no sometidas a cargas estructurales y revocos.

##### III.5.1.1 Cemento Pórtland

Se compone de clínker (80-94%) y de escorias de alto horno (6-20%):

- Clínker: se compone de los siguientes óxidos (datos en %) [Instituto del cemento y sus aplicaciones (IECA); 2012]

	Porcentajes (%)
- Óxido de calcio "cal" (CaO)	60-69
- Óxido de Silicio "sílice" (SiO <sub>2</sub> )	18-24
- Óxido de Aluminio "alúmina" (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4-8
- Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1-8

- Escorias de alto horno: son subproductos no metálicos producidos por un alto horno y que corresponden a la parte que no pertenece al arrabio. Consisten principalmente en silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultánea con el hierro en los alto hornos.

##### III.4.1.2 Arena

Los requisitos de los áridos para morteros deberá cumplir las características que se indican en la normativa: UNE-EN 13139:2003

##### III.4.1.3 Agua

El agua utilizada en el amasado del mortero deberá cumplir las siguientes condiciones (norma EHE 2008):

- Exponente de hidrógeno PH ≥ 5 (UNE-EN 7234)
- Sustancias disueltas ≤ 15 gramos por litro (15.000 ppm, UNE-EN 7130)
- Sulfatos, expresados en SO<sub>4</sub> ≤ 1 gramo por litro (1.000 ppm, UNE-EN 7131)
- Ión cloruro, Cl- en hormigón armado ≤ 3 gramos por litro (3.000 ppm, UNE-EN 7178)
- Hidratos de carbono = 0 (UNE-EN 7132)
- Sustancias orgánicas solubles en éter ≤ 15 gramos por litro (15.000 ppm, UNE-EN 7235)

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas. Hay que tener en cuenta que la densidad del agua reciclada no sea superior a 1,3 g/cm<sup>3</sup> y que la densidad total del agua no sea superior a 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

#### III.4.2 Fabricación



El proceso de fabricación del mortero consiste en la mezcla de todos sus componentes, en las diferentes etapas que se muestran a continuación:

- Obtención y preparación de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento.

#### III.4.2.1 Obtención y preparación de materias primas

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de los óxidos metálicos (citados anteriormente en el apartado de la composición) para la producción del clínker.

La dosificación de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la dosificación de los minerales de partida:

- Caliza y marga para el aporte de CaO
- Arcilla y pizarras para el aporte del resto de óxidos

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

#### III.4.2.2 Molienda y cocción de materias primas

La finalidad de la molienda es reducir el tamaño de las partículas de materia prima para favorecer así su cocción.

La molienda de materias primas (molienda en crudo) se realiza en equipos mecánicos que tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria.

Posteriormente la materia prima, ya triturada, debe ser homogenizada para garantizar la calidad del clínker y la correcta operación del horno.

En función de como se procesa el material antes de su entrada en el horno de clínker, se distinguen cuatro procesos de fabricación:

- Vía seca
- Vía húmeda
- Vía semi-seca
- Vía semi-húmeda

En la actualidad la mayoría de cementeras españolas utilizan la vía seca [IECA; 2012].

En cualquiera de los procesos anteriores, el material alcanza, en el horno, una temperatura de unos 1500°C. A estas temperaturas se producen complejas reacciones químicas que dan lugar al clínker. A la salida del horno el material es enfriado bruscamente, en un enfriador que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura, de los 1500°C a los 100°C. Estas temperaturas permiten las reacciones de los componentes cálcicos y silíceos. El carbonato cálcico (piedra caliza) reacciona para formar óxido de calcio y dióxido de carbono (entorno a los 900°C) y el óxido de calcio y los silicatos reaccionan para formar di- y tri- silicatos de calcio (a temperaturas entre los 900 y 1500°C). En un grado inferior ocurren las reacciones que dan lugar al aluminato tricálcico y aluminoferrita tetracálcica. El aluminato tricálcico reacciona inmediatamente con el agua por lo que al hacer cemento, éste fragua al instante. Para evitarlo se añade yeso, actuando como regulador de fraguado, en una proporción máxima de entre el 3 y el 5%.

#### III.4.2.3 Molienda del cemento

La mezcla, de clínker, yeso y otras “adiciones” en nuestro caso escorias de alto horno, es llevada a cabo dentro de un molino de cemento, donde los materiales son sometidos a impacto de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. Consiguiendo que los materiales se muelen, mezclan y homogenizan.

Una vez obtenido el cemento, se almacena en silos para ser ensacado o cargado a granel.

#### III.4.2.4 Fabricación del mortero

Una instalación tipo para la fabricación de mortero (seco) consta de tolvas de recepción de arenas, las cuales mediante un adecuado sistema de transporte (elevador o cinta) conducen el material hasta la tolva o silo de stock.

Es preciso señalar que según el tipo de árido es necesario instalar un equipo de secado con tambor secador, cámara de combustión y sistema de enfriado.

Los conglomerantes, cemento, cal, etc. se descargados anteriormente en sus correspondientes silos de almacenamiento, alimentarán posteriormente a la amasadora.

Con el producto obtenido se pueden seguir tres caminos:

- Carga directa al camión cuba.
- Descarga a silos de stock, desde los cuales se efectuará posteriormente la carga a los referidos camiones cuba.
- Descarga a silos de stock que alimentarán sistemas de ensacado para su posterior suministro en sacos paletizados.

Es imprescindible en las instalaciones un exigente equipo de filtrado y captación de polvo para cumplir con las ordenanzas cívicas medioambientales.

#### III.4.3 Agua durante la fabricación

El mortero, compuesto formado por cemento y arena, necesita para la fabricación del primero 30.000 litros de agua por tonelada de producto [publicación “34 kg de CO<sub>2</sub>” del Departamento de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Cataluña]. En cuanto al segundo serán necesarios entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada de arena para su lavado, con el fin de eliminar los finos [artículo “ El consumo de agua en el lavado de los áridos” de la revista Canteras y Explotaciones]. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

## III.5 HORMIGÓN

### III.5.1 Composición

El hormigón se compone básicamente de:

- Cemento Pórtland
- Áridos: arena y grava
- Agua

#### III.5.1.1 Cemento Pórtland

Se compone de clínker (80-94%) y de escorias de alto horno (6-20%):

- Clínker: se compone de los siguientes óxidos (datos en %) << Instituto del cemento y sus aplicaciones (IECA); 2012 >>

	Porcentajes (%)
- Óxido de calcio "cal" (CaO)	60-69
- Óxido de Silicio "sílice" (SiO <sub>2</sub> )	18-24
- Óxido de Aluminio "alúmina" (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4-8
- Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1-8

- Escorias de alto horno: son subproductos no metálicos producidos por un alto horno y que corresponden a la parte que no pertenece al arrabio. Consisten principalmente en silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultánea con el hierro en los alto hornos.

#### III.5.1.2 Áridos

Son materiales inertes que no reaccionarán con el cemento y los agentes medioambientales. Son de naturaleza inorgánica. Pueden ser de origen natural (cumpliendo especificaciones de la EHE Art. 28) o de origen artificial. Se distinguen de dos tipos dentro del proceso de fabricación del hormigón:

- Arena: se entiende por arena o árido fino a la fracción de un árido que pasa por un tamiz de 4 mm de luz de malla.
- Grava: se entiende por grava o árido grueso a la fracción de un árido que es retenida por un tamiz de 4 mm de luz de malla.

En este proyecto se definirá una arena de naturaleza silíceas, rodada y lavada. El tamaño de este árido corresponde a un 0/e mm (d/D).

Como grava se utilizará uno de naturaleza silíceas procedente de machaqueo con un tamaño de 10/20 mm (d/D).

#### III.5.1.3 Agua

El agua utilizada en el amasado del mortero deberá cumplir las siguientes condiciones (norma EHE 2008):

- Exponente de hidrógeno PH  $\geq 5$  (UNE-EN 7234)
- Sustancias disueltas  $\leq 15$  gramos por litro (15.000 ppm, UNE-EN 7130)
- Sulfatos, expresados en SO<sub>4</sub>  $\leq 1$  gramo por litro (1.000 ppm, UNE-EN 7131)
- Ión cloruro, Cl- en hormigón armado  $\leq 3$  gramos por litro (3.000 ppm, UNE-EN 7178)
- Hidratos de carbono = 0 (UNE-EN 7132)
- Sustancias orgánicas solubles en éter  $\leq 15$  gramos por litro (15.000 ppm, UNE-EN 7235)

Se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas. Hay que tener en cuenta que la densidad del agua reciclada no sea superior a  $1,3 \text{ g/cm}^3$  y que la densidad total del agua no sea superior a  $1,1 \text{ g/cm}^3$ .

### III.5.2 Fabricación

El proceso de fabricación del mortero consiste en la mezcla de todos sus componentes, en las diferentes etapas que se muestran a continuación:

- Obtención y preparación de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento.

#### III.5.2.1 Obtención y preparación de materias primas

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de los óxidos metálicos (citados anteriormente en el apartado de la composición) para la producción del clínker.

La dosificación de la proporción adecuada de los distintos óxidos se realiza mediante la dosificación de los minerales de partida:

- Caliza y marga para el aporte de CaO
- Arcilla y pizarras para el aporte del resto de óxidos

Las materias primas son transportadas a la fábrica de cemento donde se descargan para su almacenamiento.

#### III.5.2.2 Molienda y cocción de materias primas

La finalidad de la molienda es reducir el tamaño de las partículas de materia prima para favorecer así su cocción.

La molienda de materias primas (molienda en crudo) se realiza en equipos mecánicos que tritura el material a través de la presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria.

Posteriormente la materia prima, ya triturada, debe ser homogeneizada para garantizar la calidad del clínker y la correcta operación del horno.

En función de como se procesa el material antes de su entrada en el horno de clínker, se distinguen cuatro procesos de fabricación:

- Vía seca
- Vía húmeda
- Vía semi-seca
- Vía semi-húmeda

En la actualidad la mayoría de cementeras españolas utilizan la vía seca (IECA; 2012).

En cualquiera de los procesos anteriores, el material alcanza, en el horno, una temperatura de unos  $1500^\circ\text{C}$ . A estas temperaturas se producen complejas reacciones químicas que dan lugar al clínker. A la salida del horno el material es enfriado bruscamente, en un enfriador que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura, de los  $1500^\circ\text{C}$  a los  $100^\circ\text{C}$ . Estas temperaturas permiten las reacciones de los componentes cálcicos y silíceos. El carbonato cálcico (piedra caliza) reacciona para formar óxido de calcio y dióxido de carbono (entorno a los  $900^\circ\text{C}$ ) y el óxido de calcio y los silicatos reaccionan para formar di- y tri- silicatos de calcio

(a temperaturas entre los 900 y 1500°C). En un grado inferior ocurren las reacciones que dan lugar al aluminato tricálcico y aluminoferrita tetracálcica. El aluminato tricálcico reacciona inmediatamente con el agua por lo que al hacer cemento, éste fragua al instante. Para evitarlo se añade yeso, actuando como regulador de fraguado, en una proporción máxima de entre el 3 y el 5%.

#### III.5.2.3 Molienda del cemento

La mezcla, de clínker, yeso y otras “adiciones” en nuestro caso escorias de alto horno, es llevada a cabo dentro de un molino de cemento, donde los materiales son sometidos a impacto de cuerpos metálicos o a fuerzas de compresión elevadas. Consiguiendo que los materiales se muelen, mezclan y homogenizan.

Una vez obtenido el cemento, se almacena en silos para ser ensacado o cargado a granel.

#### III.5.2.4 Fabricación del hormigón

Los principales materiales requeridos para la fabricación del hormigón son los áridos, habitualmente en forma de arena (constituyendo aproximadamente un 34% de la composición del hormigón), grava (siendo un 48% del hormigón), cemento ( en un 12% de la composición del hormigón), agua (siendo alrededor de un 6%) y en nuestro caso escoria de alto horno.

El hormigón ser enviado a obra como prefabricado o puede ser realizado in-situ. No hay una diferencia notable entre ambos de una manera energética pero, si cabe decir, que el hormigón prefabricado implica menos consumo

### III.5.3 Agua durante la fabricación

El mortero, compuesto formado por cemento y arena, necesita para la fabricación del primero 30.000 litros de agua por tonelada de producto [publicación “34 kg de CO<sub>2</sub>” del Departamento de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Cataluña]. En cuanto al segundo serán necesarios entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada de arena para su lavado, con el fin de eliminar los finos [artículo “ El consumo de agua en el lavado de los áridos” de la revista Canteras y Explotaciones]. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

## III.6 LANA DE VIDRIO

### III.6.1 Composición

Los componentes principales para la fabricación del vidrio son:

	Porcentajes
- Vidrio reciclado	
- Arena	65-80%
- Carbonato sódico	25-35%
- Caliza	25-35%
- Componentes secundarios	25-35%

**Tabla 1.6. Materias primas utilizadas en la fabricación del vidrio**

Tipo/grupo	Materia prima fuente
Vitrificantes (SiO <sub>2</sub> )	Arena
Fundentes (Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O)	Carbonato sódico y escorias
Estabilizadores (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO)	Caliza, dolomía, feldeespato, alúmina, nefelina, fluorita, otros
Afinantes (SO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Sulfato sódico, sulfato cálcico, sulfato bórico, arsénico, nitrato sódico, otros
Colorantes (óxidos metálicos, etc...)	Óxidos de hierro, óxido de cromo, dicromatos de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón

**Tabla 1.7. Formulaciones más comunes para los diferentes tipos de vidrio**

Vidrio \ Óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO+MgO	BaO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Otros
Vidrio plano	71-73	13-16	-	7-13,5	-	-	0,2-1,5	-	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,02-1,0
Vidrio hueco <sup>(a)</sup>	70-75	10-16	0-3	2-16 0-6	-	-	1-2,5	-	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0-1
Vidrio doméstico <sup>(b)</sup>	56-81	2,5-18,1	7,1-13,0	0,9-19,0 0,5-5,0	-	14,0-35,0	0,2-17,5	-	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 2,6 Li <sub>2</sub> O: 8,0 TiO <sub>2</sub> : 1,5 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0,2-17,1 FNa + F <sub>3</sub> Al <sub>3</sub> : 4
Moldeados	70-75	10-16	0-3	2-16 0-6	-	-	1-2,5	-	-
Tubo de vidrio	71,6	7,9	1,4	0,3	2,8	-	5,5	0,4	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 9,9
Filamento continuo <sup>(c)</sup>	53-60	0,5-2	-	20-24	-	-	11-16	-	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 0-10
Lanas minerales	(d)	(d)	(d)	(d)			(d)		

#### III.6.1.1 Casco de vidrio externo

El casco de vidrio, cada vez más utilizado, tiene la misma composición de los vidrios a fundir y uso implica una importante reducción del consumo energético porque, elimina el costo asociado a las reacciones químicas involucradas en el proceso de fusión: descarbonatación, disociación, reacciones en estado sólido, formación de inquemados, etc. Además el uso de casco de vidrio actúa como catalizador, acelerando la reacción entre los vitrificantes y fundentes e implica que el calor de reacción y latente de fusión sean nulos y que las emisiones a la atmósfera sean menores.

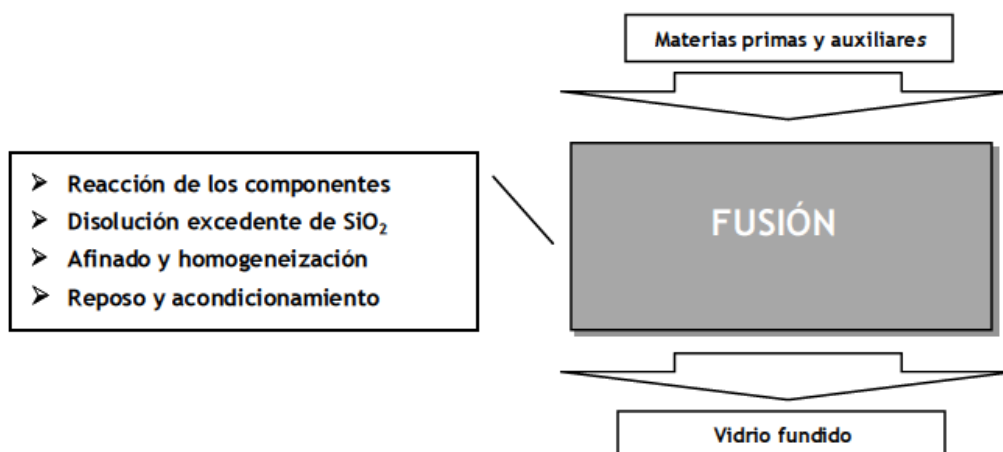
### III.6.2 Fabricación

El proceso de fabricación del vidrio es básicamente el mismo para todos los subsectores: preparación de las materias primas, fusión, conformado, tratamientos posteriores y, por último, almacenamiento y expedición de los productos finales.

La elaboración del vidrio es un proceso complejo que comienza con la recepción de la materias primas, su dosificación, mezclado y homogenización. Termina con la salida del producto frío a la desembocadura del túnel o del archa de recocio. El proceso de elaboración de las lanas minerales, en nuestro caso de la lana de vidrio, puede considerarse dividido en seis etapas más o menos diferenciadas:

- Reacción de los componentes y formación de vidrio.
- Disolución del excedente de sílice sin reaccionar
- Afinado (homogenización de la masa vítrea fundida y eliminación de los gases disueltos y burbujas ocluidas)
- Reposo y acondicionamiento térmico
- Conformado
- Secado o polimerizado

#### III.6.2.1 La fusión



Las cuatro primeras etapas se suceden sin solución de continuidad dentro del horno, constituyendo la fusión propiamente dicha. Dentro del horno la temperatura va en progresivo aumento hasta un máximo de 1.600°C, seguido de un enfriamiento y un periodo de estabilización en el que la masa vítrea debe alcanzar la rigurosa homogeneidad térmica requerida para su inmediata conformación.

Los hornos utilizados para la fabricación de la lana de vidrio son:

- Hornos continuos regenerativos, son hornos de llamas transversales con cámaras de regeneración.
- Hornos eléctricos, consiste en una cámara de material refractario de forma más o menos cuadrada y encapsulada en una carcasa normalmente de acero, con electrodos insertados en los laterales, en la parte superior o, más frecuentemente, en la parte inferior del horno.

La fusión es una parte común a toda la fabricación de vidrio, los parámetros difieren según el producto final; el tipo de vidrio, el conformado posterior, y las exigencias de calidad tienen una influencia determinante en la fijación de los parámetros de fusión.

### III.6.2.2 El conformado

El comportamiento viscoso-plástico de los vidrios a alta temperatura facilita su moldeado en un amplio intervalo térmico, utilizando para ello diversos procedimientos en función del tipo de vidrio fabricado: colado, soplado, prensado, estirado, flotado, laminado, centrifugado y fibrado. En el caso de la lana de vidrio los procedimientos en el conformado serán, el centrifugado y estirado.

El vidrio se condiciona, con ello, térmicamente en la zona de trabajo para estabilizar su viscosidad.

### III.6.2.3 Secado o polimerizado

Después del conformado, se somete al vidrio a un proceso de secado, etapa crítica ya que se requiere que el vidrio pase de un estado plástico a un estado rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje de forma uniforme y adquiera en todos sus puntos el mismo volumen específico.

## III.6.3 Agua durante la fabricación

Una de las principales actividades consumidoras de agua en la fabricación de la lana de vidrio es la refrigeración de los equipos. Estos sistemas suelen funcionar en circuitos cerrados donde se reponen únicamente las fugas y las pérdidas por evaporación. Los procesos de fibrado, polimerización y algunos otros, también son consumidores de agua. También se utiliza el agua para el lavado de materias primas, entre 1500 y 3500 litros de agua por tonelada, con el fin de eliminar los finos [artículo “ El consumo de agua en el lavado de los áridos” de la revista Canteras y Explotaciones]. Para los cálculos nos usaremos el valor promedio, 2.500 litros de agua.

El consumo global de agua para la fabricación de lanas minerales es de 25-125 m<sup>3</sup>/día [Guía de las Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de la fabricación del Vidrio]



## III.7 MADERA

### III.7.1 Composición

La madera está formada por fibras de celulosa, sustancia que constituye el esqueleto de los vegetales, y por lignina, sustancia que le proporciona rigidez y dureza. Un tronco de árbol está formado por un 60 % de celulosa, un 30 % de lignina y el resto, por agua, resinas, almidón, taninos y azúcares.

### III.7.2 Procesado

#### 1.- Etapas de acopio de trozas (madera en rollo)

Esta etapa inicia con la llegada de camiones cargados con trozas de madera al patio de acopio del aserradero (área amplia y despejada para el almacenamiento temporal de trozas).

En ese momento, se revisa la factura que garantiza la legitimidad de su procedencia, se mide o se pesa el volumen y se descarga. Seguidamente, se clasifica (puede ser por procedencia, diámetro, calidad, etc.) para los procesos posteriores. De esta etapa se generan residuos sólidos (cortezas, ramas, astillas, etc.), que pueden ser utilizados como abono orgánico o como material de combustión.

#### 2.- Etapas de aserrado de la madera

- Descortezado de la madera

El descortezado puede ser manual o mecánico, ambos producen residuos sólidos que pueden ser utilizados como abono orgánico o como material de combustión.

- Aserrado principal

En esta sub-etapa se cortan las orillas de la troza para obtener un tablón de madera con escuadra en una o todas sus caras longitudinales. Esta operación se realiza en la sierra principal, que puede ser de tres tipos: sierra de cinta y carro, sierra circular o de disco y sierra alternativa. Normalmente, se utiliza una sierra de cinta con volantes para el corte de trozas gruesas, equipada con un sistema de giro y porta trozas que mantiene una velocidad constante durante el corte.

Las tablas o tablones pasan a la sierra partidora (reaserradora) o a la sierra canteadora, dependiendo del tipo de producto. En esta sub etapa se generan subproductos de madera llamados orillas con corteza (lomos o capotes) que son aprovechados para la fabricación de cajas de empaque de tomates, nasas para pesca, palillos para escobas y clips para las fosforeras.

- Sierra partidora (reaserradora)

La sierra partidora o reaserradora tiene como función principal transformar los tablones en tablas. Asimismo, realiza cortes paralelos al corte de referencia (corte de escuadra) con mayor precisión que la sierra principal. El equipo de esta sub etapa está compuesto por una mesa de corte con una banda guía que regula el grosor del corte y realiza las tareas de avance, además de un rodillo de presión que mantiene la pieza en la posición adecuada. Al igual que con la sierra principal, la sierra partidora puede ser de banda o circular.

- Sierra canteadora

Las tablas provenientes de la sierra partidora o de la sierra principal, pasan a la sierra canteadora que realiza dos cortes a la pieza, uno a cada lado de la tabla, para definir el ancho requerido. Los cortes se realizan en dirección longitudinal a la pieza. En esta subetapa se utiliza una máquina compuesta por una mesa de entrada, rodillos de alimentación y un eje en el que se disponen al menos dos sierras circulares. Una de estas sierras es fija, la otra se desplaza a lo largo del eje, definiendo así el ancho de la pieza. A la salida de la máquina se disponen unos rodillos de evacuación para facilitar el desplazamiento de las piezas.

- Sierra despuntadora

La sierra despuntadora realiza dos cortes transversales en la pieza, determinando así la longitud de la tabla. Este proceso se realiza con una sierra circular colocada al final de la línea de flujo del aserrado.

Estas máquinas están provistas de mesas con rodillos en ambos lados y topes en el extremo de salida de la pieza para darle el largo deseado a la tabla con mayor precisión.

### 3.- Etapa de baño anti manchas, secado y almacenamiento

- Baño antimanchas

Los tratamientos fungicidas realizados a la madera en los aserraderos tienen la finalidad de evitar la aparición de la mancha azul durante los 2 ó 3 meses que puede durar el secado natural o durante un periodo de hasta 15 días previo a que se lleve a cámaras de secado. Estos tratamientos consisten en la inmersión de las tablas y tablones en una pileta (balsa o bañera) que contiene la solución anti manchas. Esta solución también se puede aplicar en cámaras con aspersores en los cuatro costados. El tiempo de tratamiento dependerá del producto utilizado. Después del tratamiento la tabla se saca y se dejan escurrir previo a su traslado al área de secado. En esta sub etapa del proceso, se generan residuos lodos semisólidos resultantes de la combinación del aserrín y virutas con la solución fungicida.

- Clasificación de madera

Después del baño anti manchas, las tablas se ordenan de acuerdo a las dimensiones de corte (largo, ancho y grueso), para su clasificación. Las piezas se clasifican con criterios o normas internacionales de acuerdo con los requerimientos de los clientes.

- Secado de la madera

A la salida del proceso de transformación, la madera presenta una humedad superior al 80%. En estas condiciones, la madera no es apta para comercializarse debido a su carácter higroscópico y a su vulnerabilidad frente al ataque de algunos hongos, principalmente los que producen la mancha azul. La madera debe alcanzar una humedad de menos del 20% para que pueda ser usada por lo que debe ser sometida a un proceso de secado. En la actualidad se usan diversos métodos de secado que se agrupan en dos grandes categorías: secado al aire libre y secado artificial en cámaras. Para el secado al aire libre, se dispone la madera en pilas lo que permite la circulación del aire hasta alcanzar el grado de humedad del ambiente. El secado artificial consiste en forzar el proceso en cámaras donde se puede manejar temperatura y humedad. Existen cuatro métodos de secado artificial:

- Secado en cámara con aire caliente climatizado
- Secado en cámara con bomba de calor en circuito cerrado

- Secado en cámara con bomba de calor en circuito abierto
- Secado a alta temperatura

El secado al aire libre permite bajar la humedad de la madera hasta 14 ó 18% en un tiempo de 1 a 3 meses. En este tipo de secado es necesario el empleo de productos químicos que previenen la aparición de la mancha azul. Este proceso de secado es afectado por las condiciones meteorológicas, por la separación de rastreles, el grosor de la madera, etc. Cabe mencionar, que para efectos de la presente guía, se consideran solamente los impactos ambientales que puedan ocurrir en el secado al aire libre.

En el proceso de secado de la madera intervienen diferentes factores como: la humedad, la temperatura a la que esté expuesta, y la velocidad del viento. La madera debe llegar a un grado de humedad similar a las condiciones ambientales donde vaya a utilizarse. Si la madera va a ser utilizada para la fabricación de paneles o para la fabricación de muebles, se requiere que el grado de humedad sea bajo, entre un 10 o 12%. Cuando la madera es requerida para puertas o ventanas su nivel de humedad debe ser próximo a 14 ó 15%, para las estructuras, como vigas, que son sometidas a la intemperie, el porcentaje de la humedad debe ser de 21 a 24% y si está en contacto directo con el agua su nivel de humedad será de 30%.

- Almacenamiento del producto terminado

Una vez seca, la madera se almacena en el parque de salida, en donde puede estar al aire libre, bajo techo o en una instalación cerrada. En el parque de salida se organiza la madera por dimensiones, en pilas, en función de sus características o de sus destinos, según el sistema de venta y de transporte de cada empresa.

### **III.7.3 Agua durante la fabricación**

En los aserraderos el agua tiene dos usos: primero, se emplea para el riego de calles y zona de acopio de madera (cuando son de tierra) para evitar que se levante el polvo y, segundo, como disolvente de los productos químicos del baño anti manchas. En ninguno de los casos recibe tratamiento y no es necesario que cumpla con requisitos de calidad. No obstante, sí es necesario que presente condiciones de baja dureza para proteger el equipo.

## III.8 YESO LAMINADO

### III.8.1 Composición

Llamamos yeso de construcción al producto pulverulento procedente de la cocción de la piedra de yeso o aljez, que una vez mezclado con agua, en determinadas proporciones, es capaz de fraguar en el aire.

Materia prima principal:

- Aljez o piedra de yeso: constituido principalmente por sulfato de calcio con dos moléculas de agua. Se presenta en la naturaleza en distintas variedades: selenita, yeso, alabastro, espató satinado, punta de lanza, yeso sacaroideo, espejuelo, rosa del desierto.

El aljez o dihidrato tiene 2 moléculas de agua débilmente unidas al sulfato de calcio, o sea, con un pequeño incremento de temperatura (entre 150° y 180° C) se desprende el agua en forma de vapor quedando el sulfato de calcio con 1/2 molécula de agua solamente, obteniéndose un producto denominado sulfato de calcio hemihidrato, o simplemente semihidrato, de fórmula química  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ . Este producto molido a polvo se le denomina escayola de construcción.

La 1/2 molécula de agua del hemihidrato está fuertemente ligada al sulfato de calcio y para desprenderla necesitaremos un incremento de temperatura mucho mayor, obteniéndose así el sulfato de calcio anhidro, llamado anhidrita, de fórmula química  $\text{CaSO}_4$ .

### III.8.2 Fabricación

Estas son las fases para la obtención del yeso laminado:

#### Trituración del yeso

En la instalación de trituración, el yeso procedente de la cantera se reduce de tamaño, obteniéndose un producto con un tamaño máximo de 35 mm, que es el adecuado para la alimentar la molienda.

El yeso que sale de la machacadora se almacena en tres silos de unas 300 TN cada uno. Estos silos además de servir de almacenamiento de yeso, permiten homogeneizar las variaciones de la calidad del yeso que viene de la cantera de tal modo que la pureza del yeso con que se alimenta el molino es constante.

#### Molienda

En la instalación el yeso es sometido a compresión, entre unos rodillos y un plato de molienda reduciendo su tamaño progresivamente hasta unas 200 micras, que es el adecuado para calcinarlo y posteriormente formar la escayola para la fabricación de las placas.

Las instalaciones de trituración y molienda trabajan en depresión, por lo que no hay salida de polvo ni aire al exterior. Todo el polvo que genera, es arrastrado por una corriente de aire, la cual pasa a través de unos filtros que retienen el polvo dejando pasar únicamente el aire limpio al exterior. Ello permite tener unos lugares de trabajo limpios y saludables.

#### Calcinación

Mediante la calcinación, proceso de calentamiento del yeso a 160 °C durante unos 30 minutos, el yeso adquiere la propiedad hidráulica, es decir, amasado con agua se pone duro (fragua) al cabo de unos minutos. Esta propiedad es la que permite la fabricación y el moldeo de las placas laminadas.

El aire caliente que sale del proceso de calcinación se emplea para calentar y eliminar la humedad del yeso en la molienda, aprovechando de esta manera la temperatura residual de este aire y mejorando el rendimiento calorífico del fuel-oil.

#### Línea de producción de placas

Al yeso en polvo calcinado se le añade agua y aditivos con lo que tenemos una pasta (escayola) que fraguará en pocos minutos. Por medio de la maquinaria de la línea de producción, esta pasta de yeso se introduce de forma automática y en proceso continuo, entre dos láminas de cartón, con lo cual vamos obteniendo la placa de yeso laminado. A continuación esta placa se corta a la medida adecuada, se seca en un horno y se paletiza, terminado así el proceso de fabricación.

A lo largo de todo el proceso, desde la extracción del yeso de la mina hasta la colocación de las placas en casa del cliente, se realiza un control de calidad tanto de los productos en curso de fabricación como del producto final.

En los procesos de calcinación y molienda se utilizan instalaciones alimentadas por fuel-oil para producir calor y en el horno de secado de placas se utiliza una instalación alimentada por gas natural también para producir calor.

En todos los casos la moderna tecnología de los equipos empleados, la correcta utilización de los mismos así como el adecuado mantenimiento y los controles oficiales de las emisiones de humos a que son sometidos, garantizan un correcto funcionamiento, cumpliendo en todo momento con la estricta legislación por la que están regulados

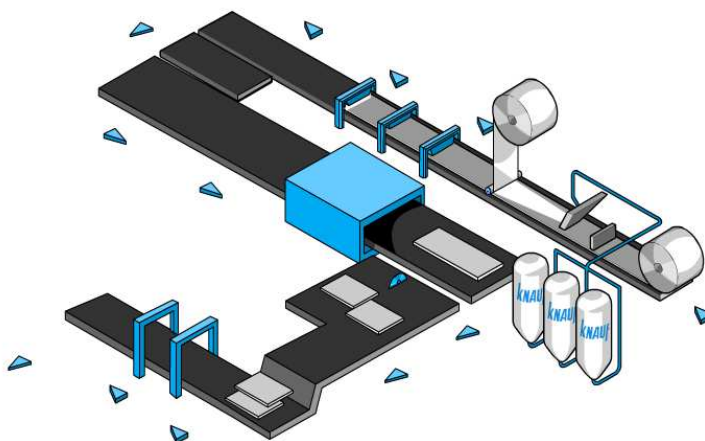


Imagen 3.8.2: Proceso de elaboración de placas de yeso laminado.

### Almacén, carga y logística

Una vez terminado el proceso de fabricación, los palets de placas pasan al almacén de producto terminado.

#### **III.8.3 Agua durante la fabricación**

El agua es utilizada en la fabricación pero ser mezclado con el yeso en polvo. Junto con el agua también se añaden el resto de materias primas y aditivos para constituir con ello el alma de la placa de yeso. Según una publicación de ATEDY llamada "Ejecución de Revestimientos con Yeso" se exponen diferentes relaciones de agua/yeso. Para este trabajo se ha escogido una relación 0,8, es decir, por cada kilogramos de yeso se añaden 0,8 de agua.

## ANEXO II

En este anejo se especificarán todas las conversiones y parámetros que se han utilizado a lo largo de la realización del proyecto.

$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ J} = 0,278 \text{ kWh}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ l (agua)} = 1 \text{ kg (agua)}$$

$$\text{Densidad (madera)} = 0,6 \text{ kg/dm}^3$$

1 m<sub>3</sub> de Gas Natural tiene un consumo de 41,86 MJ y una emisión de 2,15 kg de CO<sub>2</sub>.

1 litro de Gasoil tiene un consumo de 10,15 MJ y una emisión de 2,79 kg de CO<sub>2</sub>.

1 kWh de Electricidad tiene un consumo de 3,6 MJ y una emisión de 0,29 kg de CO<sub>2</sub>.

Estos últimos datos se han obtenido del Anexo 8 del Informe de Inventarios GEI 1990-2007 (2009) y de la página web de Iberdrola.

## ANEXO III

En este apartado se incluirán las normas de referencia que se han utilizado como base de este proyecto.

Normativa ISO:

- ISO 14040
- ISO 14044