



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS INDUSTRIALES

DTO. DE EXPRESIÓN GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS
ÁREA DE EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

PROYECTO FINAL DE CARRERA
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE UN ADOQUÍN

Alumno: Francisco Pinto Oliver
Directora: María Luz García Ceballos
Ponente: José Ramón de Andrés Díaz
Titulación: Ingeniero Industrial

Índice general

I	Memoria	2
1	Introducción	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Objetivos y alcance	4
1.3	Origen del estudio	4
2	Prefabricados del cemento. Adoquines	7
2.1	Descripción general	7
2.1.1	Ventajas del uso de adoquines	8
2.1.2	Desventajas del uso de adoquines. Otros detalles	9
2.2	Materias primas	9
2.2.1	Cemento	10
2.2.2	Áridos	10
2.2.3	Agua	12
2.2.4	Aditivos	13
2.3	Reciclado	13
3	El Análisis de Ciclo de Vida	15
3.1	Introducción	15
3.2	Relación entre la construcción y el medioambiente	16
3.3	Descripción del ciclo de vida de un producto de la construcción	17
3.4	Impactos potenciales del adoquín al medio ambiente	17
3.5	Análisis de Ciclo de Vida. Proceso completo	20

3.6	SimaPro	20
3.6.1	Bases de datos en SimaPro	21
4	Análisis de Ciclo de Vida: fabricación	24
4.1	Obtención de datos	24
4.2	Modelado de los procesos	26
4.2.1	Cemento	26
4.2.2	Arena y áridos	27
4.2.3	Agua	29
4.2.4	Dosificador de arena y áridos	29
4.2.5	Cintas transportadoras de áridos y cemento	30
4.2.6	Skip y mezcladora	31
4.2.7	Cinta transportadora para hormigón	31
4.2.8	Tolva para hormigón	32
4.2.9	Vibrocompresión	33
4.2.10	Cinta transportadora para piezas frescas	34
4.2.11	Ascensor	35
4.2.12	Multiforca	36
4.2.13	Descensor	36
4.2.14	Transporte de bandejas hasta paletizadora	37
4.2.15	Paletizado y flejado	37
4.2.16	Transporte de pallets flejados hasta zona de recogida	38
4.2.17	Transporte de pallets hasta almacén	39
4.2.18	Control informatizado	39
4.2.19	Iluminación	39
5	Análisis de Ciclo de Vida: instalación	43
5.1	Capas componentes	43
5.2	Determinación de la sección tipo	44
5.2.1	Tipo de explanada	44
5.2.2	Categoría de tráfico	45
5.3	Secciones tipo	45

6	Análisis de Ciclo de Vida: fin de vida	48
6.1	Introducción	48
6.2	Reciclaje	48
6.3	Procesos	48
II	Pliego de condiciones	49
7	Condiciones generales	50
III	Presupuesto	52
8	Coste de materiales	53
9	Coste de desarrollo	55
10	Presupuesto general	56
A	Catálogo Adoquín Holanda 6	57
B	Planos	58
C	Datos proporcionados por el fabricante	59
D	Resultados de SimaPro	60

Índice de figuras

1.1	Instalaciones de Malaka de Prefabricados.	5
1.2	Instalaciones accesorias de Malaka de Prefabricados.	5
2.1	Diagrama de flujo de la fabricación del cemento.	11
3.1	Flujo genérico del ciclo de vida de un producto	18
3.2	Niveles de estudio del ciclo de vida.	19
3.3	Estructura de SimaPro.	20
3.4	Estructura de una base de datos de SimaPro.	22
3.5	Estructura de la base de datos de <i>ecoinvent</i>	23
4.1	Diagrama de flujo de la fabricación de adoquines.	25
5.1	Secciones tipo para base granular. Unidades en cm.	47
5.2	Secciones tipo para base de hormigon. Unidades en cm.	47

Índice de tablas

4.1	Desglose de materias primas por m ² de adoquín fabricado.	26
4.2	Modelado del cemento.	27
4.3	Modelado de la arena.	28
4.4	Modelado del árido.	29
4.5	Modelado del agua.	29
4.6	Modelado de los dosificadores para arena y áridos.	30
4.7	Modelado de la cinta transportadora para arena y áridos.	30
4.8	Modelado de la cinta transportadora para cemento.	31
4.9	Modelado del skip y la mezcladora.	31
4.10	Modelado de la cinta transportadora para hormigón.	32
4.11	Modelado de la tolva para hormigón.	32
4.12	Modelado del prensado.	33
4.13	Modelado de 1 metro de transportador de rodillos.	34
4.14	Modelado del transportador de rodillos para piezas frescas.	35
4.15	Modelado del ascensor.	35
4.16	Modelado de la multitorca.	36
4.17	Modelado del descensor.	37
4.18	Modelado del transporte de bandejas hasta paletizadora.	37
4.19	Modelado del flejado y paletizado.	38
4.20	Modelado del transporte de pallets hasta flejadora.	38
4.21	Modelado del transporte de pallets flejados hasta zona de recogida. . . .	39
4.22	Modelado de un toro de almacén (forklift truck).	40
4.23	Modelado del transporte con toro de almacén.	40

4.24	Modelado del transporte de pallets con torito hasta almacén.	41
4.25	Modelado del control informatizado.	41
4.26	Modelado de la iluminación.	42
5.1	Índice CBR.	44
5.2	Categoría de tráfico.	45
5.3	Categoría de tráfico en viales y zonas de aparcamiento.	45
5.4	Intensidades de uso en zonas industriales.	46
5.5	Categoría de tráfico en zonas industriales.	46
8.1	Presupuesto de materiales.	54
9.1	Presupuesto de desarrollo.	55
10.1	Coste total del proyecto.	56
10.2	Presupuesto general.	56

Agradecimientos

A la directora de este proyecto,
por su inestimable ayuda.

A mi familia y amigos,
por esos buenos momentos.

A María y Daniel,
sin vosotros no sería lo mismo.

Parte I

Memoria

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

La mayoría de las ciudades europeas utilizan materiales prefabricados basados en el cemento para urbanizar el terreno transformándolo en espacio público que utilizarán los ciudadanos. Estas instalaciones deben ser resistentes, económicas, funcionales y sobre todo sostenibles. La sostenibilidad es un requisito que ha ido ganando importancia en los últimos años debido no solo al aspecto económico —costes y mantenimiento principalmente— sino también al medioambiental.

El impacto medioambiental que producen las actividades humanas en la naturaleza ha pasado a ser un elemento más de estudio en cualquier proyecto de ingeniería actual. En el caso de este proyecto, el sector de las obras civiles y urbanismo supone un consumo muy elevado de materias primas y energía debido a que representa un porcentaje importante de la actividad económica de cualquier país occidental, lo que implica altas emisiones al medio ambiente. De esta manera, utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se pretende conocer con una rigurosidad adecuada el ciclo de vida de un producto y/o servicio, evaluando el impacto potencial sobre el medio ambiente a lo largo de su vida.

1.2 Objetivos y alcance

El objetivo principal de este proyecto es el Análisis de Ciclo de Vida de un adoquín común utilizado en obras civiles y urbanismo. Se pretende analizar todas las entradas y salidas tanto de materiales como de energía desde la extracción de la materia prima hasta el final de vida del producto, además de identificar y clasificar los principales aspectos medioambientales y sus correspondientes impactos en los diferentes procesos que intervienen en su fabricación. De esta forma, se pueden establecer los siguientes objetivos básicos:

- análisis del ciclo de vida de las materias primas hasta que llegan a la planta de fabricación.
- análisis del ciclo de vida de los procesos productivos involucrados en el proceso de fabricación hasta su salida.
- análisis del ciclo de vida del producto hasta su final de vida.

A su vez, la redacción del presente proyecto bajo la dirección del Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos de la Universidad de Málaga tiene como finalidad última la obtención del título de Ingeniero Industrial.

1.3 Origen del estudio

Malaka de Prefabricados es una empresa malagueña que inició su actividad en 1994. Su compromiso consistía en integrarse en el tejido industrial de la provincia, estableciendo lazos con otras industrias locales, y apostar por un producto de calidad que marcara la diferencia en el mercado sin repercutir en el precio.

A finales de la década de los 90 y principios del nuevo milenio experimentaron un fuerte crecimiento como consecuencia del rápido auge del sector de la construcción en Andalucía, convirtiéndose en un referente de los prefabricados en la provincia y en la comunidad autónoma.

Sus principales líneas de producción son los adoquines, bloques y bordillos de hormigón, a los que se dedica por completo una planta de producción automatizada. La línea



Figura 1.1: Instalaciones de Malaka de Prefabricados. Fuente: [Mal10].

de adoquines dispone de varias gamas de producto debido a la versatilidad y demanda de la que disfruta. El resto de productos —tubos, registros, aligerantes, casetones y mortero seco ensilado— se fabrican en la segunda planta.



Figura 1.2: Instalaciones accesorias de Malaka de Prefabricados. Fuente: [Mal10].

El compromiso de calidad en sus productos pasó por cumplir todos los requisitos de

la normativa española y europea, adoptando el marcado CE como sello de calidad. Tanto clientes como partners pueden dar muestra de su confianza en la calidad de los mismos. Entre sus principales proyectos se encuentran el Palacio de Deportes Martín Carpena (Ferrovial—Agroman), el Parque Temático de Melilla (Dragados) y colaboraciones con los ayuntamientos de Marbella y Estepona.

Durante los casi veinte años en la industria han intentado adoptar las mejores y más novedosas tecnologías de fabricación del sector, ampliando de forma progresiva el tamaño de sus instalaciones en la Finca Pizarro, a las afueras de la ciudad de Málaga.

La empresa adoptó a principios de 2000 la Certificación de Sistemas de Gestión de la Calidad (ISO 9001) y varios años más tarde la Certificación Sistemas de Gestión Ambiental (ISO 14000) como referente de compromiso con la calidad de su producción y con el medioambiente.

Capítulo 2

Prefabricados del cemento. Adoquines

2.1 Descripción general

A lo largo de la historia de la humanidad se han ido utilizando diferentes tipos de adoquines para pavimentar los suelos urbanos [Aso04]. Los primeros adoquines eran de piedra, obtenidos a partir de los guijarros de río colocados sobre una capa de arena, usando una mezcla de cal y arena como sellante de juntas.

Debido al coste y el ruido del tráfico rodado, en la primera mitad del siglo XIX comenzaron a usarse los adoquines de madera, utilizando para el sellado residuos bituminosos. Debido a su reducida duración y a la posterior aparición de los neumáticos, los adoquines de madera son sustituidos por un modelo cerámico, con el que se usaba la misma arena tanto para la base como sellante.

Los adoquines de piedra seguían siendo más resistentes y además no eran tan deslizantes como los cerámicos, por lo que a finales del siglo XIX se comenzó la fabricación de los adoquines de hormigón. Estos proporcionaban una mayor uniformidad que los de piedra, eran muy resistentes y con un coste inferior. Alemania y Holanda fueron los primeros en incorporar este nuevo formato de adoquín a sus núcleos urbanos. Al principio se usaban modelos que imitaban a los de piedra tanto en forma como colocación, pero pronto se añadieron formas dentadas o curvas, permitiendo una mejor alineación con el trazado.

Finalmente, durante la década de los 70 se mejoraron sustancialmente los sistemas

de fabricación, permitiendo una gran variedad de modelos de adoquines y un abaratamiento de los costes de fabricación e instalación.

2.1.1 Ventajas del uso de adoquines

En comparación con otros tipos de pavimentos tales como los asfálticos o los pavimentos continuos hormigonados, los adoquines presentan las siguientes ventajas:

- **Fabricación:** no se utilizan derivados del petróleo, que suelen ser caros y contaminantes, además de requerir una mayor aportación de energía durante el proceso de fabricación. En contraposición, pueden utilizarse cementos y áridos locales, disminuyendo los costes de transporte.

El proceso de fabricación de los adoquines requiere una maquinaria específica debido a que son sometidos a presión y vibración para asegurar una resistencia y durabilidad adecuadas. Esto implica un control sobre la fabricación, consistencia y fiabilidad del producto mayor que el resto de pavimentos.

- **Instalación:** aunque los adoquines pueden colocarse de forma automatizada, están diseñados de base para ser colocados manualmente, permitiendo instalarse en zonas de difícil acceso, cargas elevadas (muelles de carga, aeropuertos, ...), resolver trazados complejos o pendientes pronunciadas. A diferencia de los pavimentos asfálticos, su ejecución no depende de la temperatura ambiente y pueden ser utilizados inmediatamente después de su finalización, lo que implica una reducción en los tiempos de ejecución de obra.
- **Comportamiento:** los adoquines pueden ser diseñados para ser muy resistentes tanto a cargas verticales (distribuidas o puntuales) como a esfuerzos horizontales (aceleración-frenada, giros,...). Además, soportan bien sin degradarse los vertidos de aceites y combustibles sobre el pavimento. Los niveles de ruido generados por el tráfico son similares o inferiores a otros pavimentos en ausencia de humedad y sensiblemente inferiores en condiciones de humedad, especialmente a bajas velocidades. La resistencia a deslizamiento es mayor al del resto de pavimentos.

- **Mantenimiento:** la vida útil del adoquín viene determinada principalmente por el comportamiento de la base, subbase y explanada y no por el propio adoquín. La vida útil de cálculo suele ser a 30 años, aunque en condiciones normales puede superar los 50 años. De esta manera, al renovar el pavimento se pueden reutilizar entre un 90 y un 95% de los adoquines originales [Aso04]. El adoquín es la mejor opción en zonas donde aún no se han implantado todos los servicios de públicos debido a que pueden ser levantados fácilmente para llevar tareas de instalación o reparación en el subsuelo. La conservación de los adoquines se limita al relleno de juntas erosionadas con arena de sellado cada cierto tiempo y a la reposición de adoquines fracturados.
- **Costes:** aunque inicialmente el precio del metro cuadrado instalado es algo superior a otros pavimentos, a largo plazo es mucho más barato debido al menor mantenimiento y la reutilización de piezas. Los pavimentos asfálticos y hormigonados requieren un mayor esfuerzo e inversión a la hora de ser reparados o retirados para acceder al subsuelo.
- **Aspecto estético:** actualmente los adoquines pueden diseñarse de todas formas, texturas, colores y disposiciones según las necesidades de la obra.

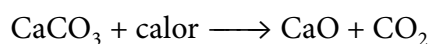
2.1.2 Desventajas del uso de adoquines. Otros detalles

2.2 Materias primas

Las características de las materias primas que se pueden emplear en la fabricación de los adoquines se contemplan en la norma UNE EN 1338:2004/AC:2006. En ella se especifican detalladamente los materiales, propiedades, requisitos y métodos de ensayo de los adoquines prefabricados de hormigón no armados y accesorios complementarios, previstos para uso peatonal, uso en áreas sometidas a tráfico de vehículos y cubiertas, como por ejemplo: aceras, límites de áreas, sendas para bicicletas, aparcamientos, carreteras, autopistas, áreas industriales, aeropuertos, estaciones de autobuses y gasolineras. Esta norma no trata la visibilidad y la tactibilidad de los adoquines ni los adoquines permeables.

2.2.1 Cemento

El cemento es un conglomerante, formado a partir de arcilla y caliza (CaCO_3), que se endure al mezclarse con agua. Para producir cemento (ver figura 2.1), la arcilla y la caliza se muelen juntas. A esta mezcla se le añade yeso para conferirle la propiedad de fraguar y endurecerse. El resultado se introduce en un horno rotatorio, normalmente seco por ser más eficiente energéticamente, a una temperatura aproximada de 1450°C . A continuación se introduce el material en un incinerador donde el calentamiento produce la liberación del CO_2 de la caliza y se produce el cemento *clinker*.



El clinker es el óxido de calcio (CaO) obtenido de la reacción anterior, que puede encontrarse acompañado de otros minerales como hierro, aluminio o silicio. El aporte de calor necesario para obtener el clinker representa la mayor parte del coste energético en la producción de cemento.

Por último, se produce la molienda del clinker junto yeso y otros materiales (bauxita, arena,...) para mejorar sus propiedades, produciendo el cemento.

Cuando se utiliza la palabra *cemento* se refiere normalmente a un cemento tipo Portland (supone un 95% de la producción de cementos [Sju05]), nombre no comercial que implica un proceso de producción y una composición característicos. De acuerdo a la norma UNE-EN 197-1:2011 [UNE11], el cemento se divide en tres grupos en función de la cantidad de cemento Portland incluido: CEM I, CEM II y CEM III. El CEM I (95% a 100% de contenido de cemento Portland) es el más usado en la fabricación de adoquines.

Con respecto a la normativa específica de adoquines, la norma UNE 80301:1996 [UNE96] en el ámbito de España establece los requisitos que debe tener el cemento común. Si se utilizan cementos especiales se recurrirá a la norma UNE 80303:2013, y si son blancos a la norma UNE 80305:2012.

2.2.2 Áridos

Los áridos (entre los que se incluye la arena) son partículas de roca puede ser tanto gravas (piedras de forma natural) como macadán (piedras trituradas), teniendo cada tipo

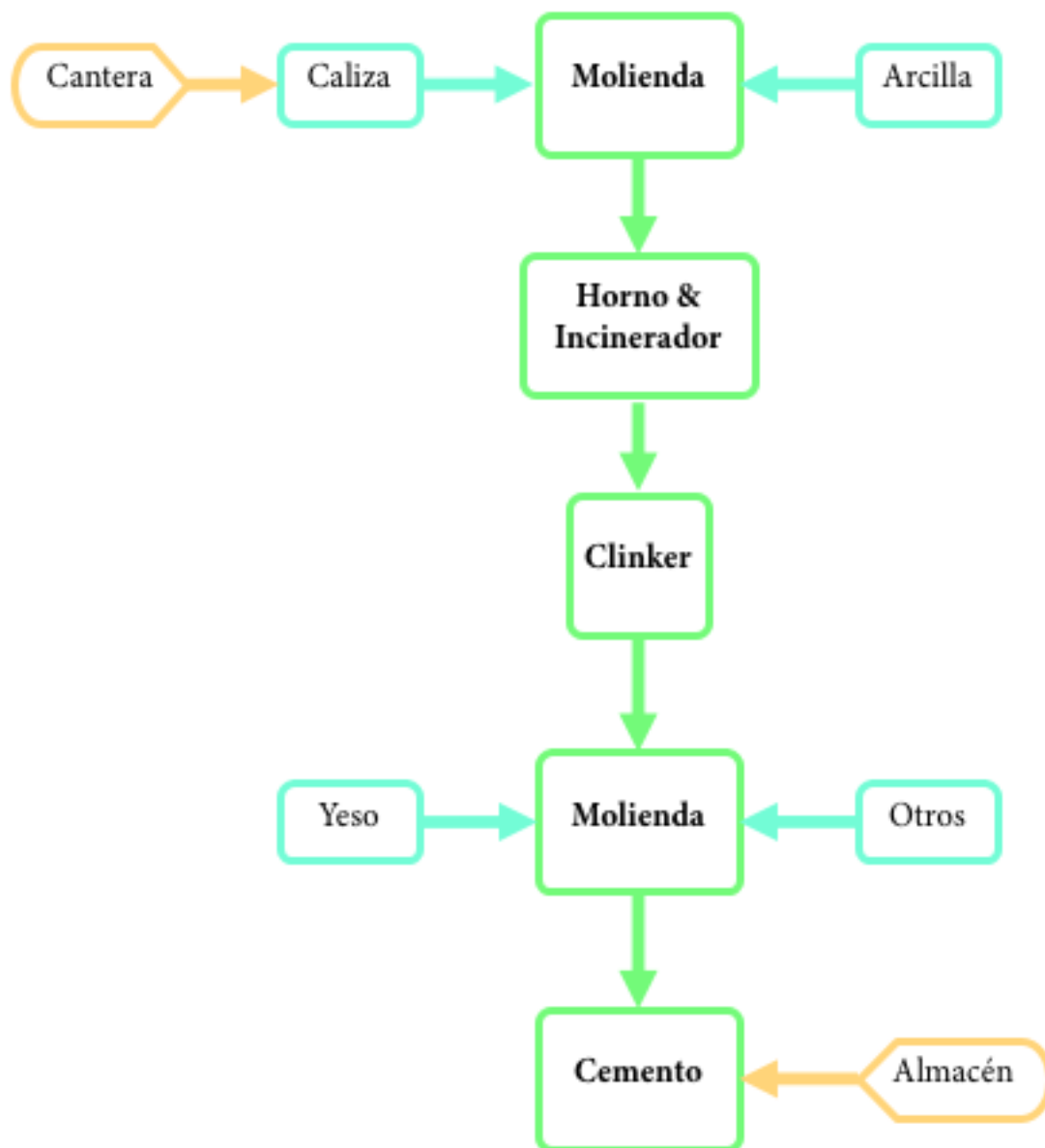


Figura 2.1: Diagrama de flujo de la fabricación del cemento.

una textura diferente. Se pueden añadir diferentes tamaños de áridos para ejercer una función diferente según el mismo. Fracciones menores rellenarán las cavidades que haya entre partículas mayores, aportando adherencia a costa de un mayor peso.

El material de machaqueo para la producción de macadán se criba para eliminar las

partículas menores. Debido a que las partículas que forman el macadán son más irregulares, es más fiable como material de relleno por su capacidad de incrustamiento (la grava tiene una forma más redondeada). El macadán se puede ser utilizado de forma más generalizada en función de la localización ya que la grava natural es un recurso más limitado.

La fuente de recursos de áridos son principalmente de río, mina o cantera o piedras trituradas (macadán). La granulometría de los áridos que se utilicen deberá cumplir las características indicada en la norma UNE EN 1338:2004/AC:2006.

2.2.3 Agua

El agua es muy importante en la constitución del hormigón. Reacciona químicamente con el cemento —hidratación— para proporcionar las propiedades deseadas del hormigón [Nat13]. El agua de amasado es la cantidad de agua que toma contacto con el cemento y se usa para determinar las proporciones del resto de elementos para formar la mezcla. La fuerza y la durabilidad del cemento viene dado en gran parte por la cantidad de agua.

Además de su cantidad, la calidad del agua utilizada tiene efectos importantes en las propiedades del hormigón fresco, tales como el tiempo de fraguado y la facilidad de trabajo. También tiene importantes en la fuerza y durabilidad del hormigón endurecido.

Fuentes posibles de agua

Por norma general el agua adecuada para el consumo humano —agua potable— es válida. No obstante, el agua no potable puede ser utilizada siempre que no tenga un impacto negativo en las propiedades del hormigón. La mayoría de las plantas tienen una fuente de agua municipal que proporciona potable sin pruebas de calidad. En zonas rurales o en plantas portátiles in situ —instaladas y desinstaladas en el propio lugar del proyecto—, habrá que utilizar fuentes de agua no potable como ríos o masas de agua.

Otra fuente de agua es la reciclada de la limpieza —agua de lavado— de la mezcladora y otros elementos de la planta. También se podrá aprovechar el agua de precipitaciones atmosféricas que pueda recolectarse en las instalaciones de la planta.

El agua de procesado no sólo se genera de la fabricación del hormigón, sino también del lavado del hormigón reciclado. Los sistemas de recolección procesan el agua con el cemento y los áridos en forma de lechada que puede ser también utilizada como agua para la mezcla de hormigón.

Las normativas medioambientales suelen requerir que las plantas de fabricación traten y procesen tanto el agua de lluvia como el de procesado —agua de operaciones— para que adquiera ciertos niveles de pH y contenidos sólidos antes de que abandonen las instalaciones [Eur06].

Cualificación del agua no potable

El agua es el recurso más importante para el ser humano. En algunas zonas el suministro de agua potable es muy escaso. El uso de fuentes de agua no potables para la producción de hormigón mantiene una producción sostenible de hormigón conservando los recursos de agua potable. La gestión del agua procedente de la producción de hormigón conforme con las normativas medioambientales representa un coste adicional para el fabricante, por lo que el uso de agua no potable representa un ahorro considerable en la producción de hormigón. Cuando se utilizan fuentes de agua no potable es importante verificar y documentar que las impurezas que contiene no merman las características del hormigón, ya que las fuentes pueden contener aceites, grasas, sales disueltas y otros elementos no controlados. Por esta razón, el fabricante debería tener en cuenta que su uso implica un coste adicional que evaluar y controlar.

2.2.4 Aditivos

Se podrán utilizar adiciones o aditivos siempre que produzcan el efecto deseado (acelerante, retardante,...) y no afecte a las características esperadas del hormigón.

2.3 Reciclado

Cuando las construcciones de cemento se demuelen, el cemento es normalmente reutilizables [Sju05]. El cemento se transporta a una estación de reciclaje donde es triturado

hasta un tamaño adecuado con la nueva utilización que se le va a dar. Puede ser empleado como material de relleno para el pavimento de nuevas carreteras o como árido en la producción de más cemento. La reutilización del cemento conlleva una disminución del uso de recursos naturales tales como la piedra o la grava.

HABLAR DEL CASO CONCRETO DE ADOQUINES Y SU RECICLADO (95% se vuelven a usar para pavimentar. 30 años.)

Capítulo 3

El Análisis de Ciclo de Vida

3.1 Introducción

La importancia de la protección medioambiental ha ido en creciente aumento en los últimos años [ISO06a]. El interés en los procesos de fabricación de los productos tanto manufacturados como consumidos y sus posibles impactos asociados han generado un nuevo campo de desarrollo de técnicas de análisis, entre las que se encuentra el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Lo que distingue al ACV del resto de técnicas es que realiza un estudio a lo largo de todas las etapas de la vida de un producto, desde la obtención de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final, de la “cuna a la tumba”, abarcando tanto los aspectos ambientales como los impactos potenciales.

El Análisis de Ciclo de Vida sigue los siguientes protocolos estándar:

- UNE-EN-ISO 14040:2006, Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN-ISO 14440:2006, Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y Directrices.
- UNE-EN-ISO 150041EX:1998, Análisis de ciclo de vida simplificado.

El ACV utilizado como herramienta de gestión ambiental ayuda a identificar los recursos utilizados y los residuos emitidos a los vectores ambientales —emisiones atmosféricas, aguas residuales y suelo— a lo largo de todo el ciclo de vida, ya sea de un producto o un servicio [ISO06b].

3.2 Relación entre la construcción y el medioambiente

El sector de la construcción es uno de los más productivos e importantes tanto social como económicamente. Las infraestructuras construidas aportan calidad de vida al ser humano. Como toda actividad humana, el desarrollo de esta actividad provoca impactos significativos en el medio tanto a la hora de producir, usar y eliminar sus productos.

La concienciación de protección del medio ha obligado al sector a mejorar sus actuaciones en esta materia sin disminuir su capacidad productiva para seguir siendo competitivos. Debe crearse un nuevo paradigma de trabajo en el que el usuario esté satisfecho, el consumo de materia y energía sea mínimo, así como el impacto medioambiental, pero a su vez mejorando la calidad y disminuyendo el tiempo y el coste [dCF01].

AUGENBROE, 1998. ITeC, 2000. SYMONDS, 1999.

El impacto medioambiental de un producto cambia según la etapa del ciclo de vida, produciendo diferentes efectos contaminantes sobre el entorno y sobre las personas. Sirva de ejemplos los siguientes datos [dCF01]:

- el sector de la construcción moviliza un 10% de la economía mundial y consume un 40% de la energía mundial producida cada año.
- según estudios realizados en varios países europeos entre los que se encuentra España, el consumo energético asociado al sector se distribuye en:
 - 19% para la construcción y mantenimiento de edificios.
 - 48% para el consumo directo debido a su uso (electricidad, gas, etc.).
 - 33% para el transporte.
- los residuos de la construcción y demolición (RCD) generados en la Unión Europea superan los 180 millones de toneladas cada año, es decir, 480 kg. por persona

y año. De esos residuos, sólo el 28% son reutilizados.

3.3 Descripción del ciclo de vida de un producto de la construcción

Una buena práctica para poder comprender mejor el ciclo de vida de un producto es la estructuración del sistema en procesos, de forma que queden representados todos los subsistemas constituyentes y se pueda identificar claramente un inicio y un final de cada uno.

Un diagrama que represente los flujos de entrada (materiales, energía, productos inacabados) y salida (productos finales, productos inacabados, co-productos, residuos) aporta una visión más clara de las fases del ciclo completo. Con los elementos bien identificados es más fácil atribuirle causas y consecuencias tanto a su subsistema como al sistema completo (ver figura 3.1).

El adoquín se ajusta perfectamente a este esquema. BLA BLA BLA. BLA.

3.4 Impactos potenciales del adoquín al medio ambiente

A la hora de analizar los aspectos medioambientales de un sistema es necesario establecer diferentes niveles de análisis para poder establecer una estrategia de estudio, ya que a lo largo de la vida de un producto se pueden encontrar diferentes contextos.

Al ser el adoquín un elemento de pavimentación se encontraría en el denominado nivel 2 (ver figura 3.2). Los impactos medioambientales del nivel 2 se clasifican según el momento de su vida en:

- Producción
 - Consumo de energía y recursos naturales en los procesos de producción y transporte.
 - Producción de ruidos y vibraciones.
 - Producción de residuos por excedentes de procesos y embalajes.

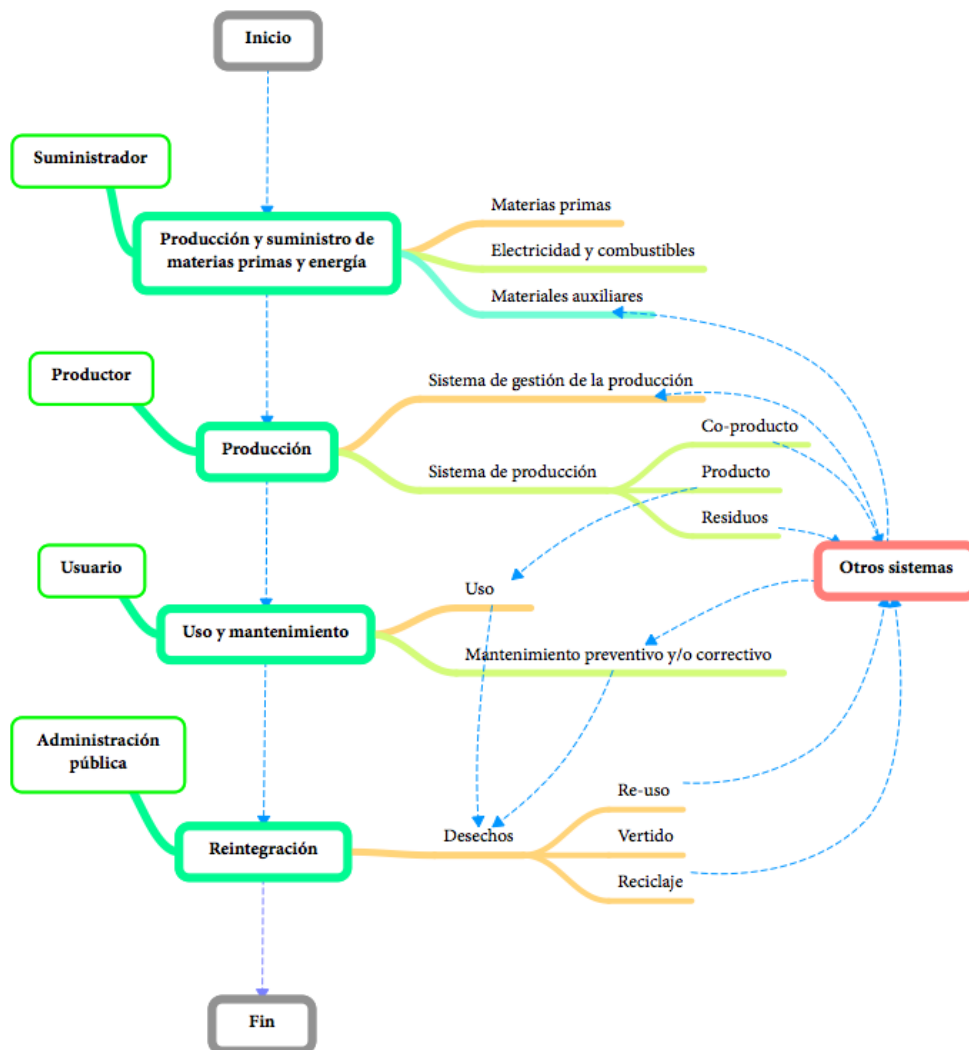


Figura 3.1: Flujo genérico del ciclo de vida de un producto

- Emisiones de partículas al aire (p. ej.: polvo).
- Uso y mantenimiento
 - Consumo de energía y recursos en los procesos de mantenimiento.

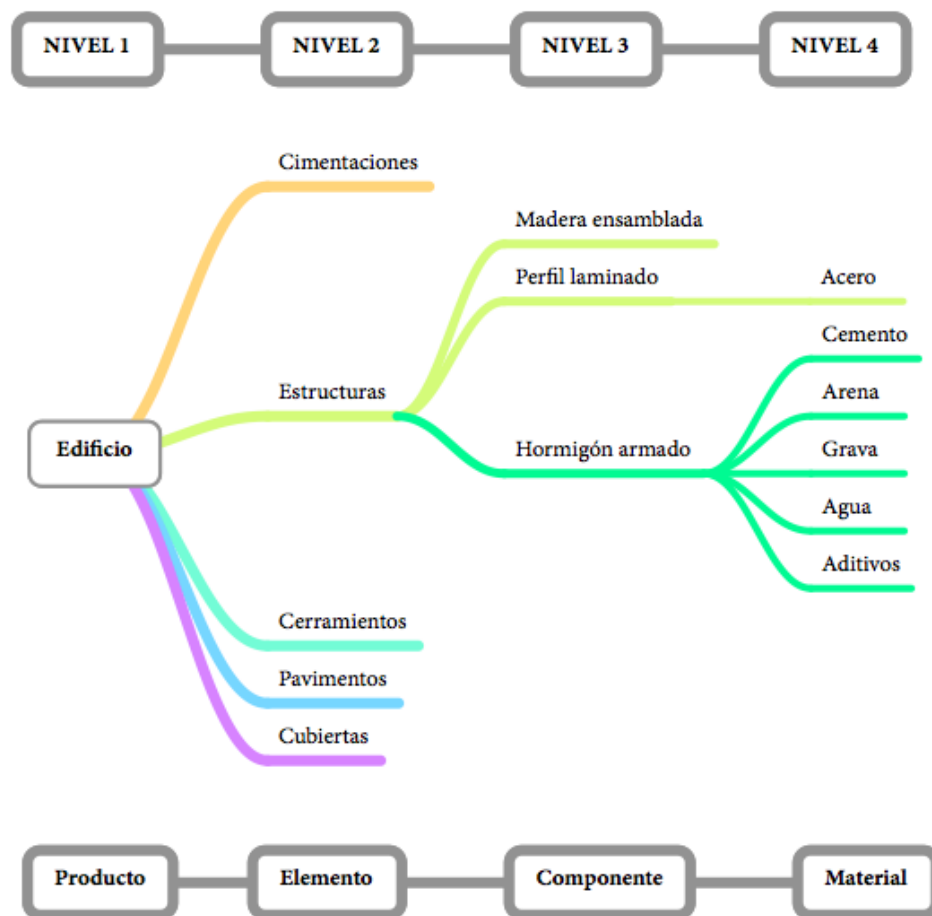


Figura 3.2: Niveles de estudio del ciclo de vida.

- Producción de residuos o sustancias tóxicas en función de los procesos de mantenimiento, su naturaleza y vida útil.
- Reintegración
 - Impactos potenciales traspuestos al producto final que lo utiliza.

3.5 Análisis de Ciclo de Vida. Proceso completo

3.6 SimaPro

SimaPro es una herramienta profesional desarrollada por la empresa holandesa PRé Consultants para el Análisis de Ciclo de Vida más utilizada actualmente por la mayor parte de los consultores y la industria, apoyada en la investigación de materiales y elementos por parte institutos y universidades [G⁺10b]. Permite modelar ciclos de vida complejos y analizarlos de forma sistemática y transparente, ya que puede rastrearse el origen de todos los resultados de forma sencilla.

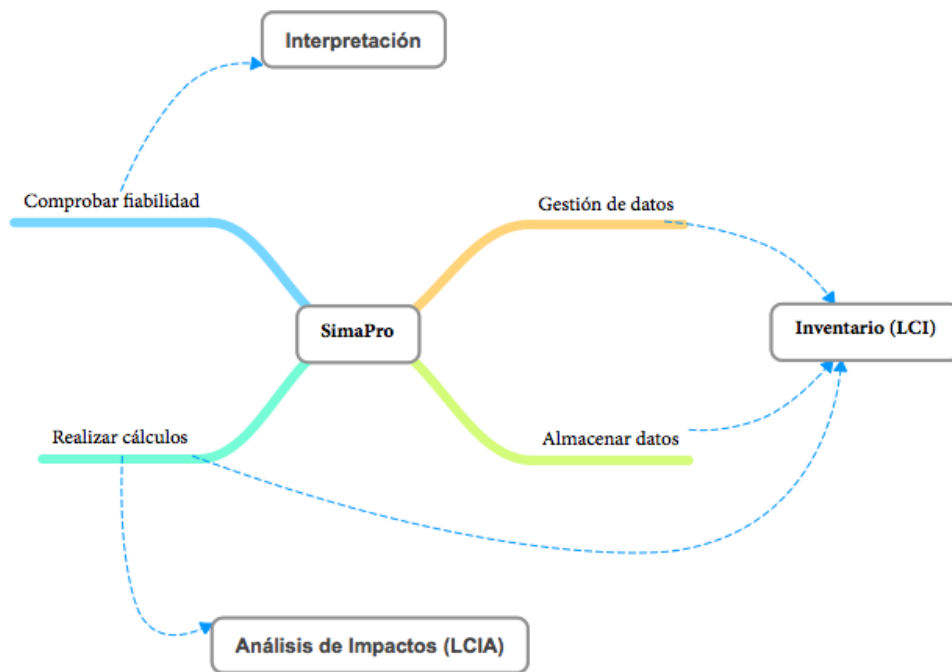


Figura 3.3: Estructura de SimaPro.

Entre sus principales cualidades destacan:

- Diseño de productos.
- Desarrollo de indicadores clave.
- Cálculo de la huella de carbono de muchos tipos de productos y sistemas.
- Determinar el impacto medioambiental de productos o servicios con precisión estadística mediante el método de análisis Monte Carlo.
- Incluye Declaraciones Medioambientales de Productos e Informes Medioambientales GRI (Global Reporting Initiative).
- Utilización de bases de datos con inventarios.
- Asignación de múltiples procesos de salida.
- Análisis de Punto Débil, que permite identificar los puntos sensibles en el ciclo de vida utilizando un árbol de procesos.
- Análisis de tratamientos de residuos y escenarios de reciclado.

Esta herramienta cuenta con una interfaz de usuario intuitiva con un explorador de guía a través del Análisis de Ciclo de Vida del producto o servicio siguiendo los principios de las normas ISO 14040 y 14044. Además incorpora un modelado utilizando un asistente paso a paso.

La mayor ventaja de esta herramienta es la utilización de bases de datos con los inventarios de miles de procesos y métodos más importante de análisis de impacto.

3.6.1 Bases de datos en SimaPro

SimaPro incluye varias bases de datos de inventarios con miles de procesos, además de los métodos de análisis de impacto más importantes. De esta forma, no es necesario recolectar datos de procesos individuales y poder centrarse en los asuntos más importantes del estudio.

La calidad de los datos que aparecen en el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) implica que el estudio sea relevante o no. *ecoinvent* implementa en una única base de datos miles

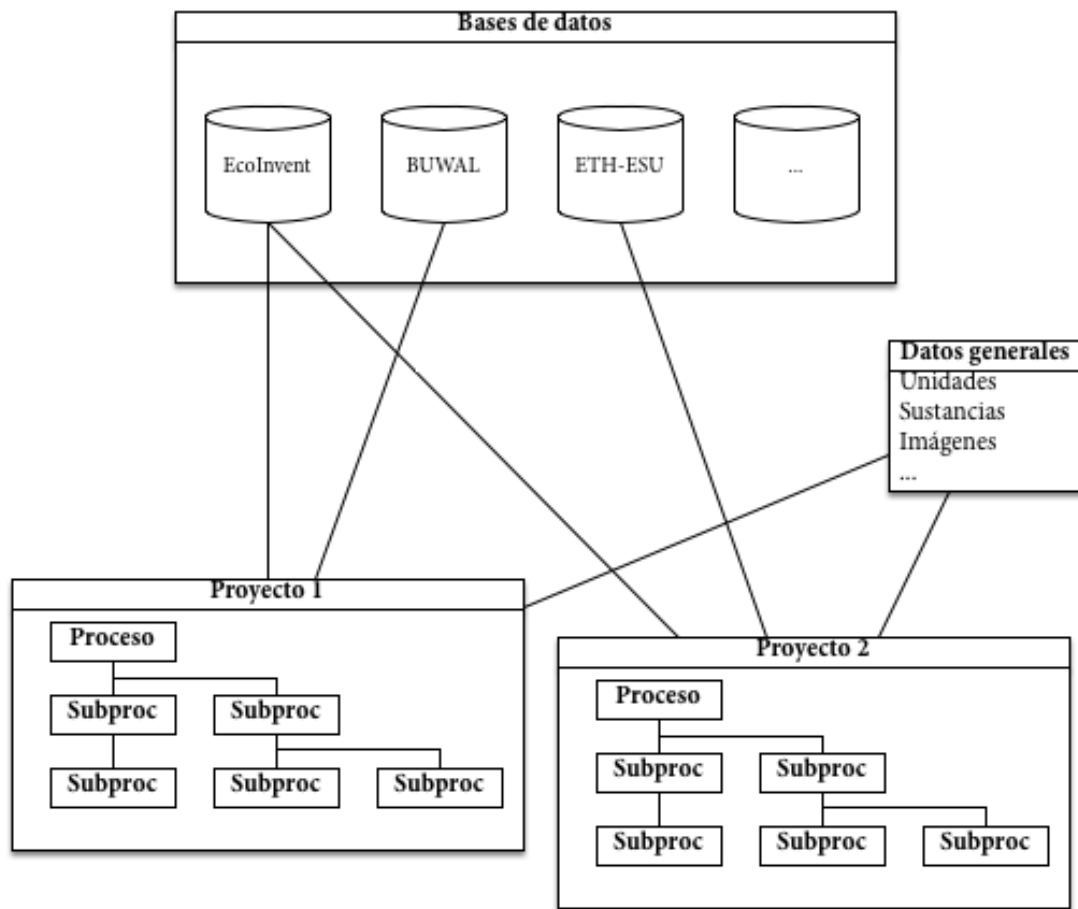


Figura 3.4: Estructura de una base de datos de SimaPro.

de conjuntos de datos de ICVs —agricultura, energía, transporte, combustibles, biomateriales, químicos, materiales de construcción, materiales de empaquetamiento, metales elementales y preciosos, procesamiento de metales, informática y electrónica, tratamiento de residuos— basados en información industrial recopilada por grupos de investigación y consultores reconocidos internacionalmente [Por13].

De esta forma, la metodología de uso de SimaPro consiste en utilizar *ecoinvent* como soporte para aquellos materiales y procesos de nuestro sistema que sean similares con los de la base de datos. En caso de que no se adapten a la entrada de la base de datos será necesario modelar una nueva entrada equivalente, pudiendo usar otras entradas de

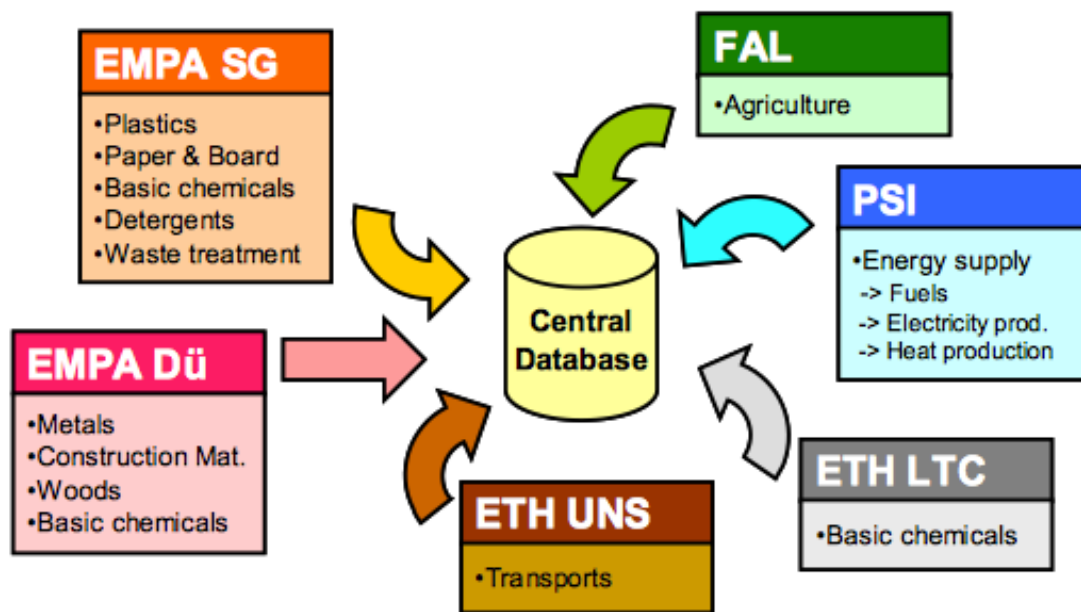


Figura 3.5: Estructura de la base de datos de *ecoinvent*. Fuente: [G⁺10a].

la base de *ecoinvent*.

La librería *ecoinvent*:

- Incorpora más de 4000 procesos:
 - Bienes de producción y calidades.
 - Para algunos procesos añade diferencias regionales (Suiza y Unión Europea).
 - Mix eléctrico y procesos agrícolas de Estados Unidos y Asia.
- Incertidumbre en los datos.
- Ilustraciones de la mayoría de los procesos.
- Documentación extensa y consistente de los procesos.
- Actualizaciones frecuentes y periódicas.
- Incluye versiones de los procesos como Unidad (Proceso 1/U) —más detallado— o como Sistema (Proceso 1/S) —sin información de incertidumbre—.

Capítulo 4

Análisis de Ciclo de Vida: fabricación

4.1 Obtención de datos

Los datos de partida que se han utilizado en este análisis han sido proporcionados por Malaka de Prefabricados. La figura 4.1 muestra las entradas al sistema, así como los procesos que ocurren durante la fabricación —que serán explicados en las siguientes secciones— y la salida del sistema.

En primer lugar es necesario señalar que el modelo de adoquín “Holanda 6”, cuya hoja de datos técnicos aparece en el Apéndice A, es el que mayor demanda de fabricación tiene en la empresa, por lo que se ha dispuesto de mayor número de datos.

Cada bandeja fabricada supone exactamente 0.5 m^2 de adoquines modelo “Holanda 6”. Como se ha tomado como Unidad Funcional 1 m^2 de adoquín, los cálculos se han realizado para 2 bandejas. Cada adoquín mide $200 \times 100 \times 60 \text{ mm}$ y pesa 3 kg . Como cada bandeja está formada por 25 adoquines, y son necesarias 2 bandejas para tener 1 m^2 , se tiene un total de 50 adoquines/m^2 (ecuación 4.2). De esta forma:

$$200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 25\text{ud/bandeja} \times 2\text{bandeja} = 1\text{m}^2 \quad (4.1)$$

$$3\text{kg/ud} \times 50\text{ud/m}^2 = 150\text{kg/m}^2 \text{ de masa para adoquín} \quad (4.2)$$

Como es necesario disponer de 150 kg/m^2 de masa para adoquín, se aplican los porcentajes de materias primas sobre la fórmula base para adoquín “Holanda 6” para obtener

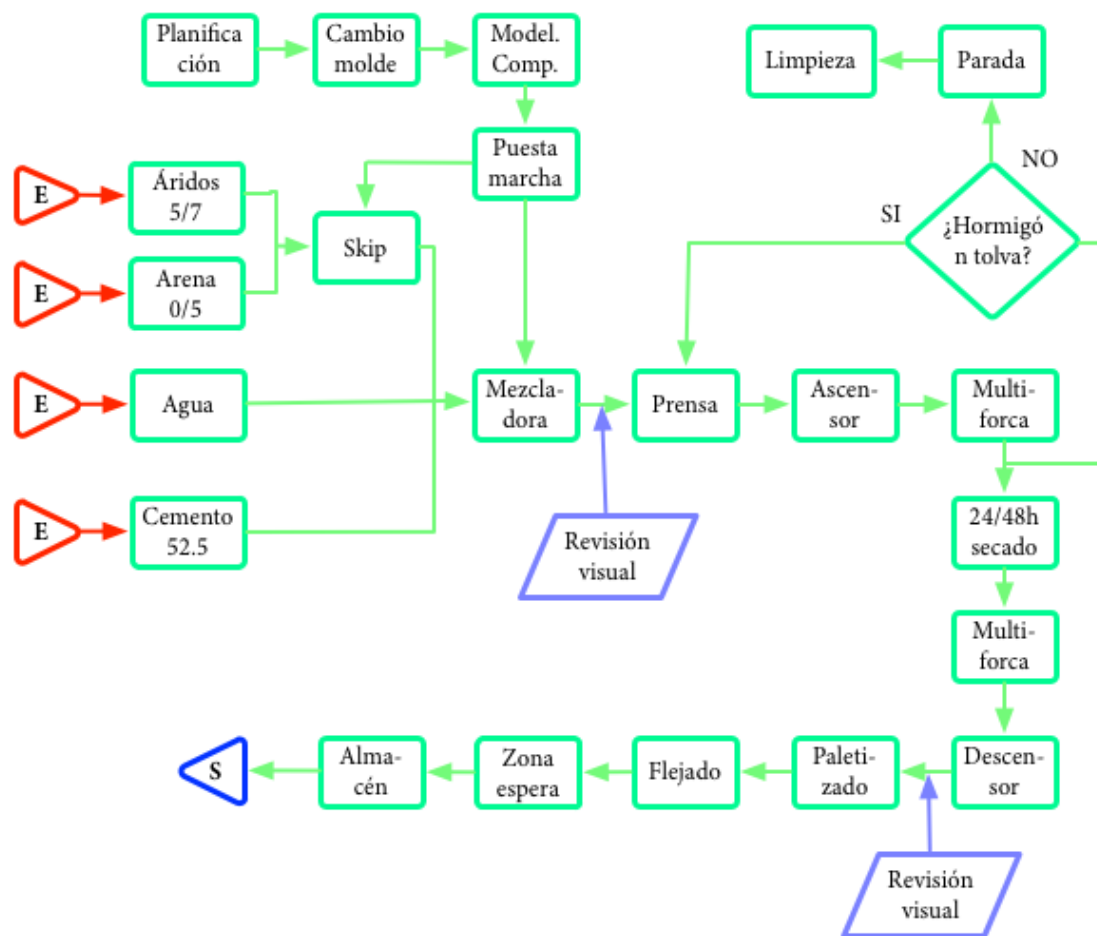


Figura 4.1: Diagrama de flujo de la fabricación de adoquines.

las masas de cada materia prima reflejadas en la tabla 4.1.

En el Apéndice A también se especifica un diagrama de Gantt de los procesos para una simulación realizada para fabricar 1 m^2 de adoquín, además de los consumos energéticos desglosados.

Consumo de materias primas por m ² de adoquín fabricado				
Materia prima	% Fórmula	Masa (kg)	Proced.	Dist. (km)
Árido tipo 5/7	37.75	56.63	Alh. Torre	8
Arena tipo 0/5	47.16	70.74	Alh. Torre	8
Cemento Portland 52.5N	10.06	15.09	Málaga-El Palo	30
Agua	5.03	7.54	Red	-

Tabla 4.1: Desglose de materias primas por m² de adoquín fabricado.

4.2 Modelado de los procesos

4.2.1 Cemento

El cemento se transporta a granel en camiones con tanques a presión hasta la fábrica. Allí se almacena en silos provistos de compresores que descargan el material desde el tanque hasta su interior. El compresor es alimentado por electricidad mediante una toma de corriente conectada a la red eléctrica. La descarga del silo es únicamente por gravedad con válvulas dosificadoras de control de caudal (ver tabla 4.2).

Las unidades para el modelado del camión (lorry) vienen expresadas en kg×km, mientras que el uso del silo se proporciona en m³, dada una densidad media del cemento Portland de 1250 kg/m³ [Por13].

$$15.09kg \times 30km = 453kg \times km \quad (4.3)$$

$$15,09kg/1250kg/m^3 = 0.0121m^3 \quad (4.4)$$

El mix eléctrico se obtiene del consumo del compresor del silo proporcional a una cantidad de 15.09 kg, si la potencia del compresor son 30kW, velocidad de carga del silo es 35 t/h para un tiempo de llenado de 35 minutos.

$$30kW \times 1h \times \frac{35min}{60min} = 17.5kWh = 63MJ \text{ para 20 toneladas} \quad (4.5)$$

$$35t/h \times \frac{35min}{60min} = 20t \text{ de cemento con el silo cargado} \quad (4.6)$$

$$15.09kg \times \frac{63MJ}{20t} = 4.79kJ \quad (4.7)$$

Cemento Portland CEM I 52.5Z gris		
Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Unidad
Portland cement, strength class Z 52.5, at plant/CH U	15.09	kg
Procesos	Cantidad	Unidad
Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U	453	kg*km
Tower silo, plastic/CH/I U	0.0121	m ³
Electricity mix 2013/ES U	4.79	kJ

Tabla 4.2: Modelado del cemento.

4.2.2 Arena y áridos

Las arenas y áridos se transportan hasta la planta de fabricación mediante camiones. Actualmente los áridos y la arena ya no se apilan a bajo techados en las explanadas adyacentes a las plantas, sino que el propio transporte rellena las tolvas de forma automática.

El tipo de arena que se utiliza en la planta es 0/5 —granulometría en milímetros de las partículas que forman la arena— no está directamente disponible en SimaPro. En su lugar, se ha optado por tomar el material “Sand 0/2” (Arena tipo 0/2), que además de pertenecer a la clasificación general de arena —de 0 a 5 mm—, la descripción de SimaPro indica que puede utilizarse como árido natural estándar en la industria de la construcción (ver tabla 4.3).

Technical purpose of product or process: Standard mineral product used

as natural aggregates in the construction industry according to the applied technology.

Las unidades para el modelado del camión (lorry) vienen expresadas en kg×km.

$$70.74kg \times 8km = 566kg \times km \quad (4.8)$$

Arena tipo 0/5		
Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Unidad
Sand 0/2, wet and dry quarry, production mix, at plant, undried/RER S	70.74	kg
Procesos	Cantidad	Unidad
Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U	566	kg*km

Tabla 4.3: Modelado de la arena.

Los áridos utilizados para producir adoquines puede incluir arena, gravilla y piedra de machaqueo si se pretende obtener un producto de peso normal. Si se desea que el adoquín sea más ligero —entre un 20 y un 45 %— sin mermar sus propiedades estructurales se utilizan materiales como pizarra, arcilla, escoria de altos hornos y cenizas de carbón según su disponibilidad y coste.

El tipo de árido utilizado en planta es de granulometría 5/7 —en milímetros—, catalogado como gravilla. No está directamente disponible en SimaPro, por lo que en su lugar, se ha optado por tomar el material “Gravel, crushed” (gravilla de machaqueo) (tabla 4.4).

Las unidades para el modelado del camión (lorry) vienen expresadas en kg×km.

$$56.63kg \times 8km = 566kg \times km \quad (4.9)$$

Árido tipo 5/7		
Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Unidad
Gravel, crushed, at mine/CH U	56.63	kg
Procesos	Cantidad	Unidad
Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U	453	kg*km

Tabla 4.4: Modelado del árido.

4.2.3 Agua

La mayoría de las plantas tienen una fuente de agua municipal (*tap water*) que proporciona potable perfectamente válida para el uso en la fabricación de hormigón (ver tabla 4.5).

Agua		
Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Unidad
Tap water, at user/RER U	7.54	kg

Tabla 4.5: Modelado del agua.

4.2.4 Dosificador de arena y áridos

El sistema de control central manda una señal a los dosificadores para que viertan la cantidad ordenada por el programa principal de fabricación. Dichos dosificadores consisten en una especie de tolva con forma de embudo con un cierre controlado por el sistema.

No existe un modelo de referencia en SimaPro para este tipo de dosificadores —*feed hopper*, en inglés—, por lo que se ha simplificado un modelo válido [FB08]. Se le ha añadido la parte de mix eléctrico de los datos del fabricante (Apéndice C). El dosificador del cemento y del agua están incluidos en su propio modelo (silo y abastecimiento de la red respectivamente).

Dosificadores para arena y áridos		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	47	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.0021	MJ

Tabla 4.6: Modelado de los dosificadores para arena y áridos.

4.2.5 Cintas transportadoras de áridos y cemento

Las tolvas descargan la cantidad programada de materia prima sobre dos cintas transportadoras —una para áridos y arena, otra para cemento— con básculas de pesaje incorporadas que se comunican con el sistema de control y cortan el flujo de descarga.

La cinta de áridos descarga sobre un skip que eleva los materiales hasta una mezcladora. La cinta de cemento descarga directamente sobre la mezcladora.

Las distancias están medidas sobre planos (Apéndice B), y los consumos se han obtenido de los ensayos en fábrica a partir de la potencia de la cinta transportadora y el tiempo de funcionamiento ($\text{Potencia} = \text{Energía} / \text{Tiempo}$).

Cinta transportadora para arena y áridos		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Conveyor belt, at plant/RER/I U	14.6	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.1827	MJ

Tabla 4.7: Modelado de la cinta transportadora para arena y áridos.

Cinta transportadora para cemento		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Conveyor belt, at plant/RER/I U	7.3	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.0975	MJ

Tabla 4.8: Modelado de la cinta transportadora para cemento.

4.2.6 Skip y mezcladora

Para asegurar la consistencia del lote el agua se añade mediante un sistema electrónico de control que dosifica el caudal. En el caso de que haya otros aditivos, tales como acelerantes o colorantes, es en este momento cuando se incorporan a la mezcla. Cuando se termina de añadir el agua se produce el mezclado creando hormigón fresco.

La base de datos *ecoinvent* proporciona un modelo para el mezclado del hormigón, “Paster mixing” en el que se introduce la masa de la mezcla, 150 kg y al que se le añade la parte de mix eléctrico de los datos del fabricante (Apéndice C).

Skip y mezcladora		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Plaster mixing/CH U	150	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	1.71	MJ

Tabla 4.9: Modelado del skip y la mezcladora.

4.2.7 Cinta transportadora para hormigón

El hormigón sale de la mezcladora mediante una cinta transportadora que contiene otra báscula de pesaje y se dirige hacia la tolva de hormigón que se encuentra en lo alto

de la prensa.

La base de datos *ecoinvent* proporciona un modelo para la cinta transportadora, “Conveyor belt” en el que se introduce la distancia de recorrido, 12.1 m, y al que se le añade la parte de mix eléctrico de los datos del fabricante (Apéndice C).

Cinta transportadora para hormigón		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Conveyor belt, at plant/RER/I U	12.1	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.088	MJ

Tabla 4.10: Modelado de la cinta transportadora para hormigón.

4.2.8 Tolva para hormigón

La tolva de hormigón se encarga de dosificar el hormigón en el molde de la prensa. No existe un modelo de referencia en SimaPro para tolvas —*hopper*, en inglés—, por lo que se ha simplificado un modelo válido [D⁺13]. Se le ha añadido la parte de mix eléctrico de los datos del fabricante (Apéndice C).

Tolva para hormigón		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	470	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.0161	MJ

Tabla 4.11: Modelado de la tolva para hormigón.

4.2.9 Vibrocompresión

La tolva dosifica el hormigón fresco, que cae en los moldes para adoquines. Los moldes tienen una longevidad muy alta —aproximadamente un millón de ciclos de prensado— y su durabilidad depende de las propiedades abrasivas de los áridos utilizados.

El molde se compone de dos partes: la parte donde se inyecta el hormigón (hembra) y la parte que se coloca encima para dar forma (macho). La prensa tiene incorporado un carro alimentador encargado de proporcionar la parte hembra. Se inyecta el hormigón en el molde hembra, el molde macho baja con la prensa y el hormigón es compactado y cimentado usando un sistema combinado de presión y vibración. Cada molde puede producir 25 adoquines de 200x100x60mm, lo que proporciona a una superficie adoquinada de 0.5m². Los adoquines son moldeados de una sola pieza y extraídos del molde inmediatamente después de la vibro-compresión sobre una bandeja de madera.

SimaPro no proporciona un modelo para prensas de cemento. Estudiando las similitudes entre una planta de hormigón —*concrete plant*— y la planta objeto de este proyecto, se puede aproximar un modelo de la prensa basado en la maquinaria del primero [Ko07]. La aproximación “Industrial machine, heavy, unspecified, at plant” pide la masa de la máquina industrial no específica que realiza el proceso. De acuerdo al fabricante, ese dato es de 1380 kg, al que se le ha añadido la parte de mix eléctrico también proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Prensado		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U	9000	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.437	MJ

Tabla 4.12: Modelado del prensado.

4.2.10 Cinta transportadora para piezas frescas

La bandeja con las piezas frescas es trasladada sobre un transportador de rodillos hasta un ascensor.

SimaPro no proporciona un modelo para este tipo de transportador. Estudiando las similitudes entre un transportador de rodillos y una cinta transportadora se puede aproximar un modelo propio basado en que la principal diferencia es la falta de una banda de rodadura (tabla 4.13).

Transportadora de rodillos para piezas frescas		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Concrete, sole plate and foundation, at plant/CH U	0.01	m ³
Section bar rolling, steel/RER U	500	kg
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	530	kg
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	55.5	t×km
Wire drawing, steel/RER U	29.6	kg
Residuos y emisiones para tratamiento	Cantidad	Unidad
Disposal, building, reinforced concrete, to final disposal/CH U	23	kg
Disposal, steel, 0% water, to municipal incineration/CH U	29.6	kg

Tabla 4.13: Modelado de 1 metro de transportador de rodillos.

La aproximación “Roller conveyor, at plant” pide como parámetro la distancia de recorrido, 6.8 m, al que se le ha añadido la parte de mix eléctrico también proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Transportadora de rodillos para piezas frescas		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Conveyor belt, at plant/RER/I U	6.8	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.077	MJ

Tabla 4.14: Modelado del transportador de rodillos para piezas frescas.

4.2.11 Ascensor

Este ascensor tiene diez alturas, de forma que cada vez que recibe una bandeja con adoquines frescos, la bandeja anterior sube una altura y monta la siguiente. El ascensor se encarga de alimentar un carro multiforca de diez alturas.

SimaPro no proporciona un modelo para un ascensor de estas características, por lo que se ha obtenido por un elemento genérico que sí esté en la base de datos de *ecoinvent* como “Industrial machine, heavy, unspecified, at plant” que pide la masa de la máquina industrial no específica que realiza el proceso. De acuerdo al fabricante, ese dato es de 320 kg, al que se le ha añadido la parte de mix eléctrico también proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Ascensor		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U	320	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.126	MJ

Tabla 4.15: Modelado del ascensor.

4.2.12 Multiforca

Cuando las diez alturas está ocupadas se cargan en un carro multiforca —*rack transporter*, en inglés— automatizado que transporta las piezas hasta un secadero.

Las piezas permanecen en el secadero curándose a temperatura ambiente entre 24 y 48 horas.

Una vez transcurrido el tiempo de curado, los adoquines están secos y listos para ser recogidos por otro carro multiforca automatizado que recoge las bandejas y las lleva a un descensor.

SimaPro tampoco proporciona un modelo para un carro multiforca, por lo que también se ha obtenido por un elemento genérico que sí esté en la base de datos de *ecoinvent* como “Industrial machine, heavy, unspecified, at plant” que pide la masa de la máquina industrial no específica que realiza el proceso. De acuerdo al fabricante, un carro multiforca se compone de un tres partes: transportador de forca (rackveyor), rodadura (crawler) y vehículo (transfer car), sumando en total 7500 kg, a lo que se le ha añadido la parte de mix eléctrico también proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Multiforca		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U	7500	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.516	MJ

Tabla 4.16: Modelado de la multiforca.

4.2.13 Descensor

El descensor coloca las bandejas con los adoquines secos en un transportador de rodillos. Su modelado es el mismo que el del ascensor.

Descensor		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Industrial machine, heavy, unspecified, at plant/RER/I U	320	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.126	MJ

Tabla 4.17: Modelado del descensor.

4.2.14 Transporte de bandejas hasta paletizadora

El transportador de rodillos lleva las bandejas hasta una paletizadora para hacer bloques de hasta cinco alturas. Se ha vuelto a utilizar el modelado de la tabla 4.13, introduciendo los 6.88 m de recorrido entre el origen y el destino, a lo que se le ha añadido la parte de mix eléctrico también proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Transporte de bandejas hasta paletizadora		
Materiales/combustibles		
Descripción	Cantidad	Unidad
Roller conveyor, at plant/RER/I U	6.88	m
Electricidad/calor		
Descripción	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.021	MJ

Tabla 4.18: Modelado del transporte de bandejas hasta paletizadora.

4.2.15 Paletizado y flejado

La paletizadora dispone los bloques de adoquín sobre un pallet para su posterior almacenaje y transporte. De esta forma se consigue una mayor uniformidad y facilidad

de manipulación de la carga, ahorrando espacio y rentabilizando los tiempos de carga—descarga y manipulación.

La paletizadora impulsa el pallet hasta la flejadora que aplica varias lazadas de flejes para evitar que los adoquines se desprendan del conjunto.

El proceso de SimaPro “Packing, clay products” abarca ambos procesos en un único modelo, en el que se introduce la masa de la carga, 150 km, a lo que se le ha añadido la parte de mix eléctrico proporcionado por el fabricante (Apéndice C).

Flejado y paletizado		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Packing, clay products/CH U	150	kg
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.065	MJ

Tabla 4.19: Modelado del flejado y paletizado.

Transporte de pallets hasta flejadora		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Roller conveyer, at plant/RER/I U	3.1	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.021	MJ

Tabla 4.20: Modelado del transporte de pallets hasta flejadora.

4.2.16 Transporte de pallets flejados hasta zona de recogida

La flejadora descansa los conjuntos paletizados sobre un transportador de rodillos para ser posteriormente llevados a almacén.

Transporte de pallets flejados hasta zona de recogida		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Roller conveyor, at plant/RER/I U	39.1	m
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.0315	MJ

Tabla 4.21: Modelado del transporte de pallets flejados hasta zona de recogida.

4.2.17 Transporte de pallets hasta almacén

Finalmente, un toro de almacén (forklift truck) transporta cada pallet de adoquines a la zona de almacenaje, a la espera de que los pedidos salgan de almacén.

SimaPro no incorpora en ninguna de sus bases de datos un modelo aproximado de un toro, generando el modelo de la tabla 4.22. El modelo comprende el habitáculo, horquilla, motor, batería, neumáticos y su parte proporcional de trabajo de mecanizado y ensamblado [Hen].

Al igual que no incluye un modelo de toro, tampoco incluye el transporte mediante un toro de almacén, por lo que se ha establecido un modelado basado en el de un furgón de carga de menos de 3.5 t para añadir las partes proporcionales de uso del toro, mantenimiento, asfalto y costes de operación (tabla 4.23).

De esta forma, el modelado del transporte con el toro hasta el almacén se genera introduciendo las toneladas por kilómetro que se transportan (tabla 4.24).

4.2.18 Control informatizado

Todo el sistema está centralizado en dos ordenadores que cargan los programas de funcionamiento situados en una cabina supervisada por un operario.

4.2.19 Iluminación

La iluminación del recinto se compone principalmente de 60 tubos fluorescentes de 40 W. Debido a que SimaPro no tiene modelados tubos CFL, se ha añadido un modelo

Forklift truck		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Steel, low-alloyed, at plant/RER U	2250	kg
Lead, primary, at plant/GLO U	1200	kg
Sulfuric acid, at plant/kg/RNA	2800	kg
Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER U	90	kg
Copper, at regional storage/RER U	50	kg
Turning, steel, conventional, primarily roughing/RER S	1000	kg
Drilling, CNC, steel/RER U	1250	kg
Copper wire, technology mix, consumption mix, at plant, cross section 1 mm ² EU-15 S	50	kg

Tabla 4.22: Modelado de un toro de almacén (forklift truck).

Transport, forklift truck		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Operation, van < 3,5t/RER U	5.3015	km
Forklift truck	0.000024098	p
Maintenance, van < 3.5t/RER/I U	0.000024098	p
Road/CH/I U	0.0067419	my
Operation, maintenance, road/CH/I U	0.0062138	my
Residuos y emisiones	Cantidad	Unidad
Disposal, van < 3.5t/CH/I U	0.000024098	p
Disposal, road/RER/I U	0.0067419	my

Tabla 4.23: Modelado del transporte con toro de almacén.

a la base de datos [Ram08].

Transporte de pallets con torito hasta almacén		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
Transport, forklift truck/RER U	0.0132	t×km

Tabla 4.24: Modelado del transporte de pallets con torito hasta almacén.

Control informatizado		
Materiales/combustibles		
Descripción	Cantidad	Unidad
Desktop computer, without screen, at plant/- GLO U	2	p
Keyboard, standard version, at plant/GLO U	2	p
LCD flat screen, 17 inches, at plant/GLO U	2	p
Mouse device, optical, with cable, at plant/GLO U	2	p
Network access devices, internet, at user/CH/I U	2	p
Router, IP network, at server/CH/I U	1	p
Power supply unit, at plant/CN U	2	p
Electricidad/calor		
Descripción	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.486	MJ

Tabla 4.25: Modelado del control informatizado.

Iluminación		
Materiales/combustibles	Cantidad	Unidad
CFL Bulb 40W	60	p
Desglose para 1 p. CFL Bulb 40W		
Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER U	7.09	g
Oriented polypropylene film E	4.25	g
Iron-nickel-chromium alloy, at plant/RER U	6.27	g
Copper wire, technology mix, consumption mix, at plant, cross section 1 mm ² EU-15 S	4.25	g
41 Plastics basic, virgin, EU27	1.42	g
Integrated circuit, IC, logic type, at plant/GLO U	1.42	g
Electricidad/calor	Cantidad	Unidad
Electricity mix 2013/ES U	0.972	MJ

Tabla 4.26: Modelado de la iluminación.

Capítulo 5

Análisis de Ciclo de Vida: instalación

5.1 Capas componentes

(Fuente: Manual Técnico para la correcta colocación de los Euroadoquines (MTCE 04))

- Explanada: Terreno natural adecuadamente compactado hasta alcanzar una capacidad portante mínima.
- Subbase: Conjunto de capas naturales, de material granular seleccionado, estabilizado y compactado, situadas directamente sobre la explanada.
- Base: Principal elemento portante de la estructura, situada sobre la subbase. Puede ser realizada con material granular, zahorra artificial, con un mayor grado de compactación que el alcanzado en la subbase (Base Flexible), o estar realizada con hormigón magro (Base Rígida).
- Lecho de árido: Base de apoyo de los adoquines, destinada a absorber sus diferencias de espesor debidas a la tolerancia de fabricación, de manera que estos una vez compactados formen una superficie homogénea.
- Adoquines: Elementos prefabricados de hormigón, cuya cara exterior, una vez colocados, forman la capa de rodadura de la superficie a pavimentar.

- Relleno final: Una vez encastrados en el lecho de árido, sus juntas precisan un relleno final para transferir a los elementos contiguos las cargas a las que sean sometidos por acción del tráfico.

5.2 Determinación de la sección tipo

Se consideran los siguientes casos:

1. Viales y zonas de aparcamiento¹.
2. Zonas industriales.

Para cada caso, viales o zonas industriales, la sección puede obtenerse de forma abreviada en función de dos variables:

- Tipo de explanadas.
- Categoría de tráfico.

5.2.1 Tipo de explanada

Se utiliza un sistema de clasificación de su capacidad portante mediante el índice CBR (California Bearing Ratio), indicando el tanto por ciento de la presión ejercida por un pistón sobre el suelo para alcanzar una determinada penetración baremado según un juego de muestras normalizados (ver tabla 5.1).

Calidad de la explanada	Índice CBR
E1	$5 \leq \text{CBR} = 10$
E2	$10 \leq \text{CBR} = 20$
E3	$20 \leq \text{CBR}$

Tabla 5.1: Índice CBR.

¹No suelen existir zonas peatonales puras (paso eventual de vehículos de mantenimiento, limpieza y servicios).

5.2.2 Categoría de tráfico

Tipo	Categoría de tráfico
Viales y zonas de aparcamiento	C0 ...C4
Zonas industriales	A ...D

Tabla 5.2: Categoría de tráfico.

Categorías de tráfico en viales y zonas de aparcamiento

Si en un área limitada existen diversos usos, a efectos de unificación se debería emplear para toda la zona la carga de cálculo más exigente.

Uso previsto	Categoría de tráfico
Arterias principales con gran afluencia de tráfico, paradas de bus, estaciones de servicio, etc. (50 a 149 v.p.d.)	C0
Arterias principales (25 a 49 v.p.d.)	C1
Calles comerciales con gran actividad (16 a 24 v.p.d.)	C2
Calles comerciales con escasa actividad (15 v.p.d.)	C3
Áreas peatonales, calles residenciales	C4

Tabla 5.3: Categoría de tráfico en viales y zonas de aparcamiento.

Categorías de tráfico en zonas industriales

5.3 Secciones tipo

Las secciones tipo según la base y el uso previsto del área vistas en la sección 5.2 pueden resumirse en cinco tipos para cada tipo de base, granular (figura 5.1) u hormigón magro (figura 5.2).

Área		Uso	Intensidad de uso
Comercial	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada	Alta
	Manipulación		Alta
	Estacionamiento	Vehículos pesados y ligeros	Media
		Vehículos pesados exclusivamente	Alta
		Semirremolques	Alta
Militar	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada y semirremolques	Alta
Pesquera	Almacenamiento		Media
	Manipulación		Alta
	Clasificación y venta		Media
Industrial	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada	Alta

Tabla 5.4: Intensidades de uso en zonas industriales.

Intensidad de uso	Carga de cálculo		
	Alta	Media	Baja
Elevada	A	B	C
Media	A	B	D
Reducida	B	C	D

Tabla 5.5: Categoría de tráfico en zonas industriales.

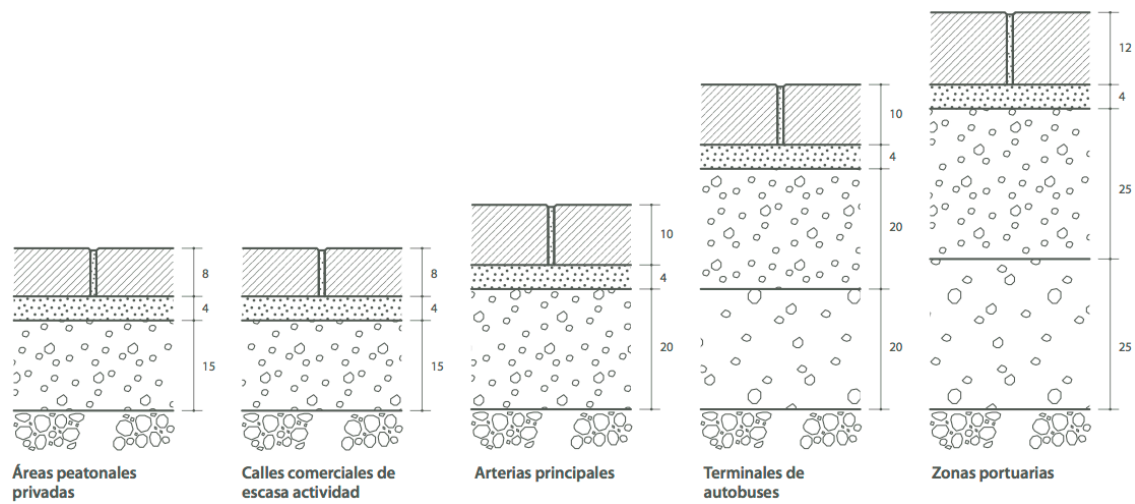


Figura 5.1: Secciones tipo para base granular. Unidades en cm.

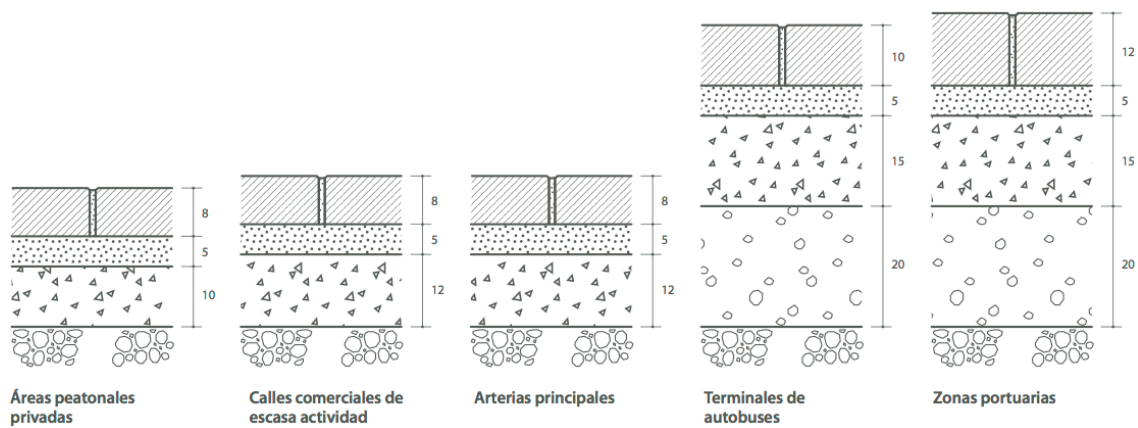


Figura 5.2: Secciones tipo para base de hormigon. Unidades en cm.

Capítulo 6

Análisis de Ciclo de Vida: fin de vida

Manual Euroadoquín2

6.1 Introducción

6.2 Reciclaje

6.3 Procesos

Parte II

Pliego de condiciones

Capítulo 7

Condiciones generales

- Artículo 1.- El autor de este proyecto cede al 50% los derechos derivados de este proyecto al Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga.
- Artículo 2.- El presente proyecto será realizado por el autor del mismo, bajo dirección y supervisión del tutor. Si esto no fuera posible, dicha realización y asesoría debería ser llevada a cabo por personal del Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga.
- Artículo 3.- El autor del presente proyecto deberá ser puntualmente informado de los posibles cambios o modificaciones que pudiesen realizarse en el mismo.
- Artículo 4.- Se autoriza la consulta de este proyecto a toda persona autorizada por parte del Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos y a cualquier persona matriculada en la Universidad de Málaga que podrá solicitar el Proyecto en la Biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad de Málaga.
- Artículo 5.- En el caso de cambios o desarrollos posteriores de este proyecto se informará al autor para colaborar en el estudio o investigación que se este realizando.

14 de octubre de 2013

Fdo. Francisco José Pinto Oliver

Parte III

Presupuesto

Capítulo 8

Coste de materiales

Se contabilizarán todos los costes —en euros— relacionados con recursos materiales tales como material de oficina, software y hardware informático.

Respecto al material de oficina, abarca desde el soporte en papel para la impresión de documentación, fotocopias, encuadernación de este proyecto, soporte óptico que acompaña a este proyecto, planos hasta los cartuchos de tinta para su impresión.

El apartado de equipo informático engloba una licencia de sistema operativo, un procesador de textos para la redacción del presente proyecto, software para la creación de diagramas de flujo y tratamiento de imágenes.

En cuanto al software informático, se ha incluido una licencia para un único usuario tipo analista válida indefinidamente. Esto incluye el precio de la base de datos *ecoinvent* versión 2 y la actualización a la versión 3. También incluye un año gratuito de soporte online y actualizaciones.

Coste de materiales			
Concepto	Cantidad	Importe (€)	Total (€)
Licencia SimaPro			
SimaPro single user, indefinite, Analyst	1	8800.00	8800.00
ecoinvent Database	1	0.00	0.00
Soporte y actualizaciones (1 año)	1	0.00	0.00
Equipo informático			
Ordenador portátil	1	1329.00	1329.00
Procesador de texto	1	0.00	0.00
Hoja de cálculo	1	8.99	8.99
Software diagramas	1	0.00	0.00
Material de oficina			
DIN-A4 (500 uds.)	1	5.50	5.50
Cartucho tinta negra	1	18.00	18.00
Cartucho tinta color	1	23.00	23.00
Encuadernación de tornillo	1	12.00	12.00
Disco óptico DVD-R	3	0.50	1.50
Subtotal materiales			10197.99

Tabla 8.1: Presupuesto de materiales.

Capítulo 9

Coste de desarrollo

El coste de desarrollo abarca los recursos humanos —en horas— necesarios para la realización del presente proyecto, documentación, recopilación de datos, redacción y correcciones del proyecto.

Coste de desarrollo			
Concepto	Cantidad (h)	Importe (€)	Total (€)
Documentación			
Documentación	130	19.00	8800.00
Entrevista con fabricante	17	19.00	0.00
Consultas varias	11	19.00	0.00
Redacción del proyecto			
Redacción	170	19.00	5.50
Introducción del modelado	60	19.00	18.00
Corrección de errores	35	19.00	23.00
Subtotal desarrollo			8037.00

Tabla 9.1: Presupuesto de desarrollo.

Capítulo 10

Presupuesto general

Coste total del proyecto			
Concepto	Cantidad	Importe (€)	Total (€)
Subtotal materiales			10197.99
Subtotal desarrollo			8037.00
Total			18234.99

Tabla 10.1: Coste total del proyecto.

Presupuesto general			
Concepto	Cantidad (%)	Importe (€)	Total (€)
Coste total del proyecto			18234.99
Gastos generales	13		2370.55
Beneficio industrial	6		1094.10
I.V.A.	21		3829.35
Total			25528.99

Tabla 10.2: Presupuesto general.

Apéndice A

Catálogo Adoquín Holanda 6

En este apéndice se incluyen los planos de la planta de fabricación de materiales prefabricados y los modelos de fabricación del adoquín y su molde.

Apéndice B

Planos

En este apéndice se incluyen los planos de la planta de fabricación de materiales prefabricados y los modelos de fabricación del adoquín y su molde.

Apéndice C

Datos proporcionados por el fabricante

En este apéndice se incluyen los datos proporcionados por el fabricante acerca del proceso de producción.

Apéndice D

Resultados de SimaPro

En este apéndice se incluyen los resultados de la aplicación de software SimaPro.

Bibliografía

- [Aso04] Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón. *Manual Técnico del Euroadoquín*. Madrid, España, 2004.
- [D⁺13] E.R. DeSombre et al. Food is not trash. Technical report, Wellesley College, 2013.
- [dCF01] A.C. de Carvalho Filho. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de inventarios del ciclo de vida del cemento*. Tesis doctoral, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos - Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España., 2001.
- [Eur06] European Ready Mixed Concrete Organization. *Guidance on Concrete Wash Water in the European Ready Mixed Concrete Industry*. Rue Volta 8, Bruselas (Bélgica), 2006.
- [FB08] M. Fantozzi, F. Barbanera and C. Buratti. LCA of wood pellet from SRC through direct measuring of energy consumption. Technical report, University of Perugia, 2008.
- [G⁺10a] M. Goedkoop et al. *Introduction to LCA with SimaPro*. Pré Consultants, Amersfoort, Holanda, 2010.
- [G⁺10b] M. Goedkoop et al. *SimaPro 7 Tutorial*. Pré Consultants, Amersfoort, Holanda, 2010.
- [Hen] Hendriks, J. and Vogtländer, J.G. *The Eco costs/Value Ratio*.

- [ISO06a] ISO. *UNE-EN-ISO 14040:2006, Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2006.
- [ISO06b] ISO. *UNE-EN-ISO 14440:2006, Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2006.
- [Ko07] D. Kellenberger and other. *ecoinvent. life cycle inventories of building products*. Technical Report Part III, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.
- [Mal10] Malaka de Prefabricados. *Catálogo general de productos*. Málaga, España, 2010.
- [Nat13] National Ready Mixed Concrete Association. *Mixing Water Quality for Concrete*. Silver Spring, Maryland, Estados Unidos, 2013.
- [Por13] Portland Cement Association. *Density of cement and concrete*, septiembre 2013.
- [Ram08] L. Ramroth. *Comparison of Life-Cycle Analyses of Compact Fluorescent and Incandescent Lamps Based on Rated Life of Compact Fluorescent Lamp*. Technical report, Rocky Mountain Institute, 2008.
- [Sju05] J. Sjunnesson. *Life cycle assessment of concrete*. Master thesis, Environmental and Energy Systems Studies - Lund University, Lund, Suecia, 2005.
- [UNE96] UNE. *UNE 80301:1996 Cementos. Cementos comunes. Composición, especificaciones y criterios de conformidad*. Una Norma Española, Madrid, España, 1996.
- [UNE11] UNE. *UNE-EN 197-1:2011 La norma europea de especificaciones de cementos comunes*. Una Norma Española, Madrid, España, 2011.