

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE TECNOLOGÍA

## PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES

*CASO PARTICULAR EN ESTRUCTURAS DE ACERO*

QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA EN EL CAMPO DE  
TECNOLOGÍA:

**Alejandro Castellanos Amador**

DIRECTOR DE TESIS

**Dra. En Ing. Perla Santa Ana Lozada**

UNAM Facultad de Arquitectura





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE TECNOLOGÍA

## PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES

*CASO PARTICULAR EN ESTRUCTURAS DE ACERO*

QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA EN EL CAMPO DE  
TECNOLOGÍA:

**Alejandro Castellanos Amador**

DIRECTOR DE TESIS

**Dra. En Ing. Perla Santa Ana Lozada**

UNAM Facultad de Arquitectura



México, DF.  
junio de 2013



## JURADO

### **Director de tesis:**

Dr. Perla Santa Ana Lozada

### **Sinodales:**

- Mtro. en Arq. Enrique Gallardo Amador
- Mtro. en Ing. Mario Sosa Rodríguez
- Ing. esp. Obras Públicas. Juan Luis Cottier Caviedes
- Dra. en Arq. Ana Dolores Flores Sandoval





## AGRADECIMIENTOS

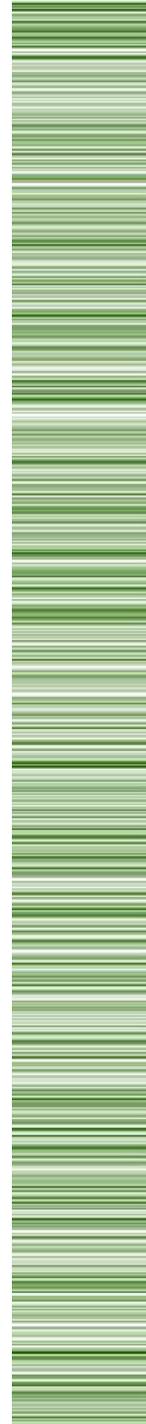
**A** mis padres, **Roberto y Alejandra** por todo su apoyo brindado a lo largo de toda mi vida. Por estar siempre conmigo e inculcarme este deseo de superación personal y profesional que hoy se materializa en este grado a obtener.

**A** mi hermano **Roberto, E.P.D.**, quien fue y sigue siendo un motor de inspiración en mí, a él quiero dedicarle especialmente esta tesis.

**A**gradezco a mis familiares que me han brindado su apoyo para que pueda realizar éste y otros proyectos de vida. En especial y con mucho afecto a mi tío Julio, a mi Abuelita Consuelo, a mi primo José Miguel y mis tías Alicia y Gabriela, muchas gracias.

**A** la **Universidad Nacional Autónoma de México y a sus docentes** por darme el privilegio de compartirme una porción de sus valiosos conocimientos. Agradezco en especial a mi directora de tesis la Dra. Perla Santa Ana Lozada, a mis sinodales, los maestros Enrique Gallardo Amador, Mario Sosa Rodríguez, Juan Luis Cottier Caviedes y a la Dra. Ana Dolores Flores Sandoval por su apoyo en la realización del presente trabajo, y a mis profesores Francisco Reyna Gómez y Jan Van Rosmalen Jansen por la labor tan valiosa que fue impartir sus clases con esa pasión y entrega.

**A**gradezco también a mis amigos por confiar en mí en todo momento y darme el apoyo incondicional e invaluable que siempre y en todo momento está presente en mí.





**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL: una práctica insostenible</b> .....	<b>2</b>
>1.2 Antecedentes de la infraestructura industrial lineal .....	2
>1.3 La edificación dentro de un sistema dinámico .....	3
>1.4 Síntomas de un inminente colapso .....	5
>1.5 El interés de la industria de la construcción por el medio ambiente .....	7
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>BASES PARA UN NUEVO PLANTEAMIENTO:</b> .....	<b>13</b>
>2.2 Conceptos de sostenibilidad ejes rectores para el AMM .....	14
>2.3 Estudio de los ciclos de vida.....	17
>2.4 Los diferentes tipos de gestión .....	18
>2.5 La visión sistémica de la edificación.....	22
>2.6 La constructibilidad: Antecedentes y su presencia actual como parte del diseño enfocado al AMM	23
>2.7 Surgimiento del concepto de "Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales" a partir de estrategias de diseño afines .....	28
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO Y PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN PARA EL DESENSAMBLE:</b> .....	<b>32</b>
>3.2 El acero como material estructural.....	32
>3.3 Las estructuras de acero .....	34
>3.4 Aspectos generales para el desensamble de estructuras de Acero .....	40
>3.5 Extrapolación de las estrategias afines a la arquitectura.....	41
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN Y DISEÑO para el AMM,</b> .....	<b>49</b>
>4.2 Principios para su consecución .....	50
>4.3 Sincronización y planeación de las tareas para la EPyDAMM.....	74
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>MODELO DE EVALUACIÓN PROPUESTO</b> .....	<b>78</b>
> 5.2 Estado del arte – Métodos de evaluación - .....	78
> 5.3 Estructura del modelo de evaluación propuesto.....	83
>5.4 Ejemplos de aplicación.....	91
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>119</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>123</b>
<b>MARCO LEGAL</b> .....	<b>130</b>
<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>135</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>1</b>



**CONTENIDO DE PRESENTACIÓN:**

> **Objetivos de la investigación**

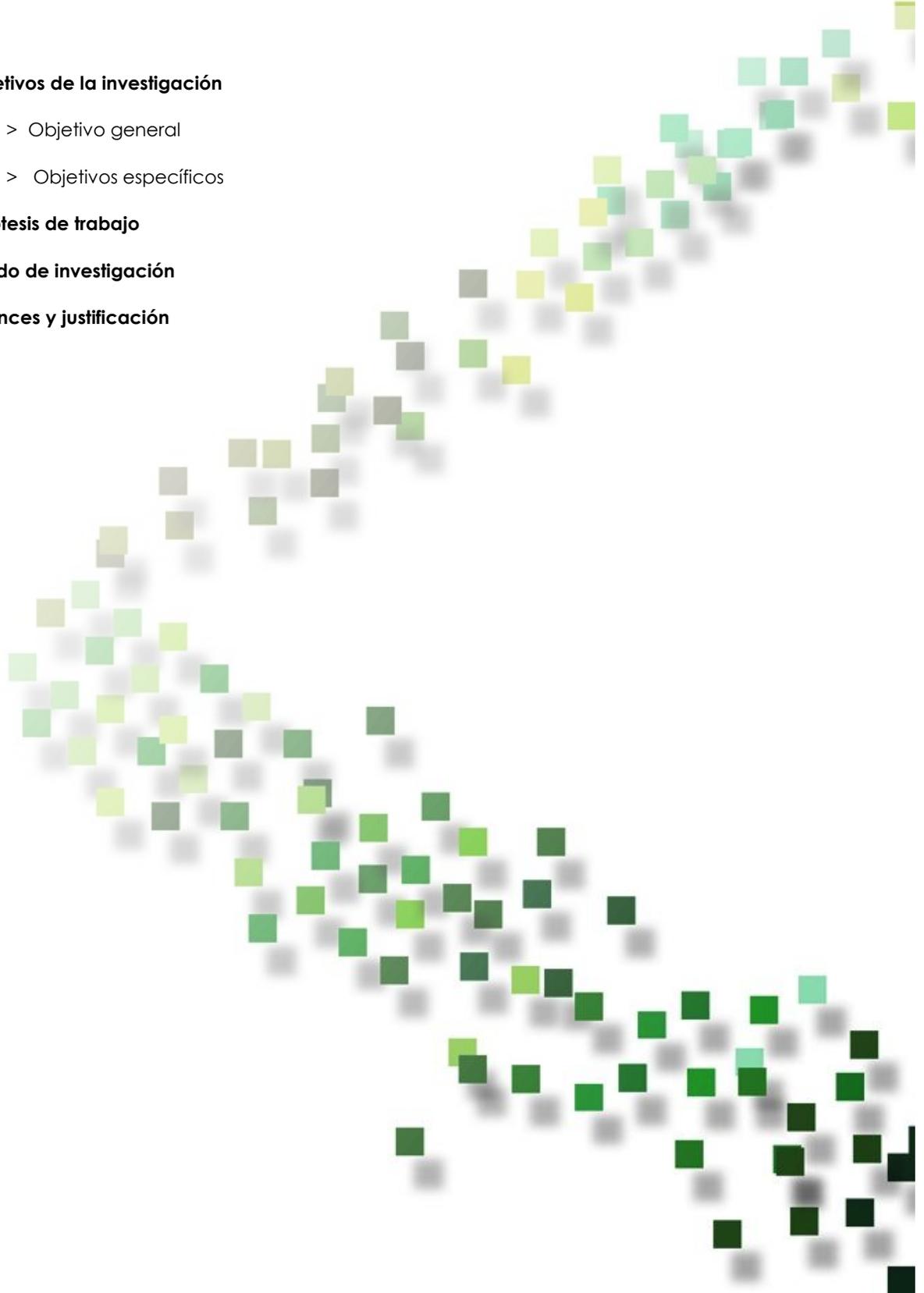
> Objetivo general

> Objetivos específicos

> **Hipótesis de trabajo**

> **Método de investigación**

> **Alcances y justificación**



## PRESENTACIÓN

*“La adopción de criterios ambientales superficiales sin entender por completo sus efectos puede, lejos de ser mejor, resultar incluso peor, que hacer nada.”*

(Braungart M., & McDonough W., 2002)

### > Introducción

Las distintas cuestiones que intervienen en el desarrollo de proyectos de edificación, que buscan maximizar el aprovechamiento de sus componentes y materiales, se engloban dentro de una estrategia de desconstrucción planeada desde la gestación del proyecto mismo a la cual se le ha denominado en el presente trabajo de investigación como: Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales (**EPyDAMM**). Si bien, esta estrategia estará basada en las características propias de las estructuras de acero, será posible asociarla -tal y cómo se verá a lo largo de la presente investigación- con otras capas de la edificación -la envolvente, los servicios, la planificación del espacio, inclusive los acabados- a fin de que poco a poco vaya permeando su aplicación en cada una de ellas. Bajo este concepto -EPyDAMM- se presenta una propuesta de solución parcial pero que ataca de fondo los dos principales problemas que hoy en día genera la industria de la construcción principalmente en nuestro país, que son:

- La contaminación derivada de los grandes cúmulos de residuos de construcción o demolición (RCD) y
- La sobre explotación de recursos naturales para la fabricación o transformación de materias primas que sirven en la industria de la construcción.

Este planteamiento nace particularmente del análisis y combinación de un grupo de estrategias emergentes como: el Diseño para la desconstrucción (*Design for deconstruction D4D* o *DfD*) el diseño para el desensamble (*Design for disassembly DfD*), diseño para el reciclaje o la reutilización y el diseño para la rescatabilidad (*Design for salvageability Dfs*), las cuales suelen enfocarse a un solo tipo de gestión de los residuos (reutilización o reciclaje) y hacen necesario este nuevo enfoque que las agrupe en pro de un aprovechamiento maximizado de los componentes de una edificación y en consecuencia de sus materiales.

¿Será posible construir pensando en una futura remodelación o demolición, a través del empleo de un *sistema constructivo moderno*<sup>1</sup>, de manera que al momento de realizar cualquiera de estas dos tareas propias del ciclo de vida de toda edificación, el impacto ambiental que se genere sea menor al que se genera cuando se demuele o remodela una edificación o parte de ella, construida mediante un sistema tradicional actual? Dicho de otra forma ¿Se obtendrá un aprovechamiento maximizado de los componentes estructurales de una edificación en aquellas obras que hayan sido construidas a partir de un sistema constructivo moderno, si desde su gestación se emplea una estrategia de planeación y diseño para el desensamble y el reaprovechamiento?, y si es así, ¿Cuáles son las principales cuestiones a considerar?

Este par de preguntas representan los ejes rectores del presente trabajo de investigación.

---

<sup>1</sup> Se define **Sistema constructivo moderno** como aquel sistema que tiene como principales patrones de diseño la: sistematización, industrialización, modulación, racionalización, normalización, transportación, interconectividad e intercambiabilidad a fin de cumplir también con sus parámetros funcionales, estéticos y de tiempo y lugar. (OCAMPO, R.,E., (1999), Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, Nanotecnología y biomimetismo en la arquitectura (Tesis de Maestría en Campo de Tecnología-Universidad Nacional Autónoma de México) p. 18)

## > Objetivos de la investigación

### > Objetivo general

El objetivo de este trabajo será definir las variables que intervienen en una estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales, tomando como caso particular las estructuras de acero, partiendo de una visión sistémica y de ciclo de vida cerrado. En otras palabras, será el objetivo del trabajo definir los principios de una estrategia que permita y facilite el desmantelamiento de este tipo de edificaciones (ya sea para llevar a cabo labores de mantenimiento, remodelación, reutilización o reciclaje de manera óptima), para posteriormente proponer un modelo de evaluación que pueda ser aplicado tanto a edificaciones ya consumadas como a las diferentes etapas de planeación de las mismas. Dicho modelo tendrá la finalidad de servir como herramienta para la toma de decisiones en todas y cada una de las etapas de planeación.

### > Objetivos específicos

- Llevar a cabo un estudio global del problema de la construcción tal y como se practica actualmente, en relación con el tema aquí tratado, y conocer las acciones que se han puesto en marcha en aras de abatir este problema, tanto en México como en otros países.
- Hacer una revisión documental sobre los diferentes principios planteados por diversos autores acerca de estrategias de diseño afines a la propuesta en este trabajo de investigación.
- Hacer una revisión detallada sobre las estructuras de acero y de cómo los principios planteados pueden ser aplicables a ellas.
- Estudiar las técnicas bajo las cuales se puede desarrollar un modelo de evaluación que permita integrar y relacionar los principios de diseño a seguir para lograr el aprovechamiento maximizado de materiales de construcción.
- Relacionar cada uno de los principios, a través de reglas de evaluación, dentro de un simulador.

### > Hipótesis de trabajo

En la actualidad existen materiales, como el acero, que pueden reintegrarse a un ciclo de vida no lineal, y los componentes constructivos que permiten que estos materiales trabajen en conjunto con otros sin alterar sus propiedades de independencia e intercambiabilidad, -conexiones adecuadas-, lo cual nos lleva a pensar en lo siguiente:

Es posible definir principios para una *Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales* (EPyDAMM) que sirvan para generar un modelo de evaluación que relacione las características de los componentes de construcción con los principios de planeación definidos por la misma EPyDAMM para la obtención de un coeficiente de Aprovechamiento de Materiales.

### > Método de investigación

La investigación documental que se realice en el presente estudio será del tipo informativo (expositivo). Será a través de un estudio de tipo transeccional descriptivo que se explorará, analizará y seleccionará toda aquella información referente a aquellos aspectos que tengan relación con el potencial de reaprovechamiento de los materiales y los componentes de edificación. Con ello posteriormente se buscará hacer una síntesis de las ideas expuestas por las diversas fuentes confiables al respecto y partir de esta información se elaborará la propuesta de un modelo que integre como variables los factores más importantes resultantes de esta síntesis. Finalmente se buscará trabajar con alguna herramienta de programación que permita manejar dichas variables de manera práctica y sencilla.

## > Alcances y justificación

Como se verá, la meta *per sé* del presente documento, no se limitará a una guía para el ejercicio de la construcción sostenible en México, que derive en transformar los principios que lleven al máximo aprovechamiento de materiales de construcción en una herramienta de evaluación, si no que buscará *incrementar la eficiencia económica y de recursos, y reducir la contaminación a lo largo de los ciclos de vida de los sistemas edificatorios, aumentando la eficacia de las labores de construcción. Su práctica permitirá, entonces, que construcciones nuevas sirvan como centros de abastecimiento de materia prima para otras construcciones, con la finalidad de que se minen y exploten primero las construcciones existentes antes de extraer los recursos del medio natural.*

Hoy en día existe una gran variedad de productos y materiales que pueden de alguna manera reintegrarse a nuevos ciclos de vida a través de los diversos tipos de gestión y de técnicas y sistemas constructivos que poseen una muy avanzada coordinación modular<sup>2</sup>, interconectividad e intercambiabilidad que valdría la pena integrar con estos nuevos productos u otros sistemas para generar un proyecto integral en su expresión más amplia (no solamente a nivel estructural o de instalaciones); aprovechando las ventajas de ensamble y construcción que tienen a través de una estrategia de diseño y construcción que se enfoque en la minimización de los residuos provenientes de actividades de demolición, remodelación o mantenimiento.

Basándose en la investigación documental y estadística y empleando la metodología antes descrita (debido a las obvias limitaciones de construir y demoler al menos dos edificaciones con distintos sistemas y materiales de construcción), se buscará demostrar el grado de optimización de los recursos materiales a través de un modelo teórico matemático en el caso del acero, pensando en que una gran cantidad de los principios aquí tratados puedan permear paulatinamente a las diferentes capas de edificación –envolvente, servicios, acabados, acondicionamiento de los espacios-

En tanto a lo concerniente a la cuestión económica, pudiera pensarse que lo planteado aquí solo aumentará el costo y la labor de diseñar y edificar, sin embargo, lo que se presenta a continuación se deberá poner en práctica de manera previa a que la naturaleza y el medio nos obliguen a ello. Pudiéramos pensar que quizá en un futuro se pueda (y quizá llegue a ser necesario) clasificar toda clase de bienes (incluyendo los bienes inmuebles) por la cantidad de materia prima reutilizable o reciclable contenida en ellos, misma que tendrá una relación directamente proporcional a la *inversión*<sup>3</sup> para la recuperación de materiales que le fue depositada desde las primeras etapas de su diseño y construcción. Es en este escenario en el que los edificios diseñados bajo una estrategia de aprovechamiento maximizado de materiales se verán beneficiados. Si bien actualmente, en México, existen muchas otras prioridades y necesidades básicas insatisfechas a las que se les da preferencia antes que a la conservación del medio ambiente, los profesionistas de los distintos sectores tenemos una tarea importante a cumplir que va de la mano con la posibilidad que tenemos de aportar elementos de cambio a la situación actual en donde ha prevalecido el diseño de productos enfocados únicamente al bienestar financiero a corto plazo, sin darle la debida importancia otros factores tales como: calidad de vida y afectación al ambiente. Es necesario no esperar que esto sea solucionado únicamente a través de las escasas iniciativas provenientes del interés por parte de organizaciones civiles, ecologistas y profesionistas que con gran esfuerzo buscan impulsar el mejoramiento del medio ambiente.

---

<sup>2</sup> La **coordinación modular** se logra a través de la adecuada coordinación geométrica, condicionante que debe tener todo elemento modulado. Es un procedimiento de diseño constructivo que simplifica y coordina las dimensiones de los elementos de construcción, relacionando las medidas de los componentes de la construcción, con los edificios a los que serán incorporados, además de coordinar las dimensiones por medio del módulo, racionaliza y simplifica la fabricación y el montaje. Los antecedentes los encontramos en la antigua Grecia y Egipto quienes edificaron sus monumentos considerando una medida básica y en Japón con la alfombra tradicional llamada tatami, sin embargo es hasta después de 1946, durante la reconstrucción europea cuando aparece el módulo, en su versión actual, ligado particularmente a la industrialización de la construcción. (**CENTRO ARGENTINO DE INGENIEROS**, (s.f.) *Coordinación modular de la construcción*, Extraído del sitio de la Comisión de Tecnología de la Construcción del Centro Argentino de ingenieros el día 05 de noviembre del 2010).

<sup>3</sup> Al incluir el término **inversión** no me refiero a cuestiones monetarias únicamente, sino también a innovaciones, estrategias, o a la tecnología bien aplicada que en consecuencia pudiera y debiera reducir la inversión monetaria.

## CONTENIDO DE CAPÍTULO I

### • LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL: una práctica insostenible

- 1.1 **Introducción**
- 1.2 **Antecedentes de la infraestructura industrial lineal**
- 1.3 **La edificación dentro de un sistema dinámico**
  - 1.3.1 El flujo lineal de los materiales de construcción
  - 1.3.2 El flujo cíclico en los materiales de construcción
- 1.4 **Síntomas de un inminente colapso**
- 1.5 **El interés de la industria de la construcción por el medio ambiente**
  - 1.5.1 **Las soluciones “superficiales”**
    - 1.5.1.1 El reciclaje de los residuos de construcción o demolición (RCD)
    - 1.5.1.2 La desconstrucción de elementos que carecen de esta planeación
- 1.6 **Reflexiones sobre el presente capítulo**

## CAPÍTULO I

# LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL: una práctica insostenible

"No tengo noción sobre una sociedad perfecta, no sé lo que eso significa, tampoco estoy tratando de predecir el futuro, sólo estoy señalando lo que es posible con la aplicación inteligente y el uso humano de la ciencia y la tecnología porque sé que podemos hacer mucho más de lo que hemos venido haciendo"...

(Jacque Fresco)

### >1.1 Introducción

Decir que la construcción actual es "una práctica insostenible"<sup>4</sup> es equivalente a decir que es "una práctica que simplemente no puede seguir así", es decir, que se tiene que acabar, o acabará ella con nosotros, la razón de esto será tratada más adelante.

Como ya se comentó en la introducción, el presente trabajo de investigación es producto del interés por reducir el impacto ambiental, que produce la industria de la construcción, ocasionado por su *infraestructura industrial*<sup>5</sup> lineal principalmente en las etapas de: extracción, producción y vertido de los materiales.

En este primer capítulo se buscará dar una revisión al problema de manera global, es decir, al de la industria de la construcción en función de los residuos que día a día produce (Residuos de construcción y demolición –RCD-); Se señalará, a través de un breve repaso por los antecedentes de la infraestructura industrial actual, cómo es que se llegó a este problema, y por qué seguimos inmersos en él. Posteriormente se explicará brevemente en qué consiste el flujo lineal y cíclico de los materiales y finalmente se tratará, de manera muy general, el

<sup>4</sup> El concepto de **sostenibilidad** se explica en el siguiente capítulo como base para un nuevo planteamiento.

<sup>5</sup> La **infraestructura industrial de la construcción** puede ser definida como el conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación de los productos, bienes o servicios que ofrece esta industria, desde materiales casi vírgenes, hasta servicios muy especializado en asesoría para la construcción, o adecuación de espacios arquitectónicos.

contexto bajo el cual surgen las primeras iniciativas de carácter formal por corregir la actividad industrial global en cuestiones ambientales, revisando, a partir de un criterio cronológico, lo que se ha denominado, en este escrito, como soluciones "superficiales".

### >1.2 Antecedentes de la infraestructura industrial lineal

La infraestructura industrial lineal, es decir, bajo la que actualmente operan los procesos industriales, es producto de una coyuntura, que si bien es válido enmarcar de manera muy general bajo las vertientes del surgimiento de la ciencia moderna, la ilustración y la revolución industrial, es esta última la que en especial ha traído como consecuencia los problemas que la *Estrategia De Diseño Y Planeación Para El Aprovechamiento Maximizado De Materiales* (EPyDAMM) pretende mitigar. Para entender por qué la industria opera bajo este esquema lineal insostenible, es importante comprender que la revolución industrial fue en el fondo una revolución económica impulsada por el deseo de la adquisición de capital, el cual encuentra su fundamento en la *teoría del liberalismo económico*<sup>6</sup> propuesta por el economista y filósofo escocés Adam Smith (1723-1790) y podría decirse que inicia

<sup>6</sup> La **teoría del liberalismo económico** se fundamenta en el hecho de que el interés propio y racional, en una economía de libre mercado, conduciría al bienestar económico (**LIBRARY OF ECONOMICS AND LIBERTY**, [s.f.] Adam Smith, Extraído el 23 de octubre de 2010 de: <http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Smith.html>)

según lo refiere Gombrich, en 1769.<sup>7</sup> Todo esto dio lugar a cambios que si bien fueron benéficos en un inicio para una sociedad que se encontraba atada a restricciones heredadas de la época medieval, que la imposibilitaban a generar una actividad industrial, pronto derivó en una especie de monstruo, llegando a extremos tales como el hecho de que los horarios de los trabajadores en las fábricas estuviese limitado por su resistencia física, las mujeres debían sentarse ante el telar hasta desmayarse de cansancio y a los niños de cinco y seis años se los llevaba a trabajar a las fábricas de tejidos de algodón para que estuvieran a salvo de los peligros de la calle y no iniciaran una vida de maleantes. Incluso se aprobó una ley que obligaba a los hijos de los pobres a trabajar bajo la amenaza de que los encadenarían a las máquinas si no lo hacían<sup>8</sup>. Incluso se llegó al extremo, en 1812, de imponer la pena de muerte a quien destruyera una máquina.<sup>9</sup>



Ilustración 1 Inglaterra durante la revolución industrial. Imagen extraída con fines didácticos del sitio web: <http://www.cottonopolis-art.co.uk>

Durante todo este tiempo y hasta la fecha, los industriales han buscado hacer productos tan eficientemente como sea posible para obtener el mayor volumen de bienes para el mayor número de personas, sin tomar en cuenta otros factores que intervienen en el proceso, y de esta manera tanto los valores sociales o el bienestar de la mayoría de los trabajadores así como la importancia de cuidar los recursos naturales han sido cosas que se han dejado de lado. La mayoría de las empresas no ven a sus productos como parte de un sistema mayor fuera del carácter económico.

Un reflejo de esto se observa en el modelo económico que opera en especial en los países miembros de la Unión Europea, tal como lo muestra en la Ilustración 2, en donde se observa que un ochenta por ciento de sus ingresos provenía en el 2004 de los impuestos aplicados al salario, el resto fundamentalmente del impuesto sobre el beneficio de las sociedades, y finalmente una pequeñísima parte de impuestos directos sobre materias primas<sup>10</sup> dando como resultado el que los recursos naturales sean muy baratos provocando a su vez el que las empresas se enfoquen en aumentar la productividad considerando únicamente el aspecto laboral y no así el hecho de poder producir más con menos recursos naturales.



Ilustración 2 Ingresos en países de la UE en 2004. Fuente: CAPUZ RIZO, SALVADOR, Et al. (2004)

### >1.3 La edificación dentro de un sistema dinámico

El flujo de los materiales se le ha definido a la manera en cómo atraviesa un material el conjunto de etapas que van desde su extracción, hasta su desecho. Es la manera en la que circula a lo largo de su ciclo de vida. Este flujo de materiales, está fuertemente influenciado por la infraestructura industrial, la cual, como se verá a continuación, puede tener un aspecto lineal, al responder a un solo eje rector, que en la mayoría de los casos es el económico, generando como consecuencia procesos en apariencia altamente rentables, pero insostenibles a largo plazo; o bien puede responder a otros aspectos además del económico, tales como factores sociales y ecológicos. Con esto puede entonces, propiciar la generación de esquemas de ciclo cerrado o semicerrado y con ello procesos, en teoría, sostenibles.

<sup>7</sup> GOMBRICH, E. (1999) *Breve historia del mundo*. España: Península. Pág. 196

<sup>8</sup> WILLEM VAN LOON, H., (trad. Escorihuela, L.). (2004) *La historia de la humanidad*. México: Oceano, p. 292

<sup>9</sup> GOMBRICH, E. (1999) *Breve historia del mundo*, España: Península, p. 198

<sup>10</sup> CAPUZ RIZO, S., Et al. (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia, p. 251

### >1.3.1 El flujo lineal de los materiales de construcción

La infraestructura industrial se dice que es lineal cuando está formada por etapas consecutivas una tras otras, mismas que no son cíclicas. Comienza por una extracción de recursos naturales que posteriormente son transformados a materia prima para la industria de la construcción. Esta transformación puede ser desde una modificación meramente física, en cuanto al tamaño y forma de los materiales, hasta un cambio más complejo, en el que intervengan dos o más materiales y que dé como resultado elementos o componentes industrializados. A partir de estos materiales, elementos o componentes de construcción, manejados a través de alguna técnica de construcción se conforma el sistema constructivo propiamente dicho, gracias al cual es posible la construcción del sistema edificado. Con el paso del tiempo y principalmente a consecuencia de diversos factores que posteriormente serán comentados, este espacio donde se encuentra el sistema edificado, presenta la necesidad de ser intervenido, ya sea para una remodelación, restauración etc., lo cual en la mayoría de los casos se traduce en una demolición parcial o total de la construcción, generando así los residuos de demolición o construcción (RDC). Estos residuos son generalmente difíciles de reciclar o reutilizar, y producen, además de una contaminación ambiental y una devastación de los recursos naturales en todo su proceso de extracción, transformación y uso, un impacto ambiental considerable al ser vertidos como escombros.

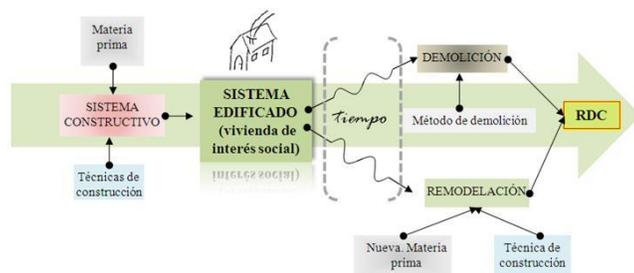


Ilustración 3 Esquema de construcción actual

### >1.3.2 El flujo cíclico en los materiales de construcción

El modelo de producción lineal, si bien es el que actualmente predomina en la industria de la construcción, es importante que se haga lo posible por transformarlo en uno de aspecto cíclico,

sin embargo para ello se requiere reconfigurar cada una de sus etapas para que los materiales, los componentes de edificación o edificaciones enteras puedan ser reutilizadas o recicladas.

En una infraestructura industrial que dirija sus esfuerzos a la producción de materia prima (materiales, elementos o componentes de edificación) con una alta capacidad de reciclaje o reutilización y utilizando una técnica de construcción adecuada, que no disminuya las propiedades de independencia e interconectividad de esta materia prima, se podrá crear un sistema edificado reutilizable o reciclable. De esta manera, con el paso del tiempo, al requerir una modificación el espacio donde se encuentra el sistema edificado, éste será fácilmente transformable, y si, como en la mayoría de los casos, se requiere "demoler" parcial o totalmente la construcción, en vez de ello, se podrá llevar a cabo un proceso de desensamble, siguiendo una estrategia de desconstrucción planeada desde la gestación del proyecto, generando con esto, residuos capaces de reintegrarse a nuevos ciclo de vida, preferentemente en la industria de la construcción.

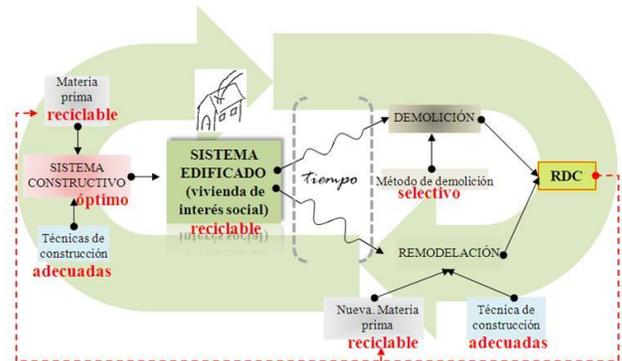


Ilustración 4 Esquema de construcción propuesto

Además de los beneficios ambientales que esta visión cíclica puede traer, existen también los beneficios sociales, tal y como afirman Chini y Bruening (2003) al sostener que el nicho de mercado, que ellos llaman "la recuperación de recursos", creado por la aceptación de estrategias como el diseño para el desensamble, para el reciclaje o similares, crearía diez puestos de trabajo por cada puesto de trabajo en vertederos o de compañías de demolición.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> OLSON T. (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A.: Washington State University, p. 8

## >1.4 Síntomas de un inminente colapso

La generación de residuos de construcción y demolición (RCD) es un problema que no solamente afecta a México sino que se presenta a nivel mundial. Según datos de la Iniciativa para el Cemento Sustentable (CSI por sus siglas en inglés), se generan al año novecientos millones de toneladas de residuos de construcción y demolición en Estados Unidos, Europa y Japón.<sup>12</sup> En la actualidad, la renovación y rehabilitación de edificios comerciales es un fuerte generador de grandes volúmenes de RCD, tal y como lo señala Miller y Hardie<sup>13</sup> al exponer que, en promedio, cada veinte años se llevan a cabo remodelaciones importantes en este tipo de edificaciones. Por otra parte muchas construcciones o desarrollos habitacionales, en México hoy en día, se venden como "sustentables", (ejemplo de ello son la unidad habitacional Aldana 11 en la delegación Azcapotztlco, D.F.<sup>14</sup>, o una comunidad de más de 2,300 viviendas, ubicada en Culiacán<sup>15</sup>) y resultan relativamente funcionales, dado que son prácticamente nuevos, sin embargo, es inevitable pensar que, al cabo de unas cuantas décadas, requerirán de un proceso de remodelación o demolición total debido a diversos factores, como los que pudieran ser:

- Desgaste de materiales (ya sea por fenómenos climatológicos o de uso),
- Afectaciones a la estructura (ya sea por causas naturales, climatológicas u antropogénicas)
- Circunstancias funcionales (crecimiento o decrecimiento de los hogares, y/o Nuevos requerimientos de espacio o de instalaciones para mobiliario y equipo.)
- Otros factores (abandono del inmueble o reestructuración urbana)

Todo esto traerá como consecuencia al corto, mediano y largo plazo un importante número de edificaciones obsoletas, que el

proceso de remodelarlas o demolerlas implicará, aunado al fuerte impacto ambiental que generó construir las, otro más, debido a que no se planifica la reutilización y reaprovechamiento de los RCD con el fin de poder generar ciclos de vida cerrados.

Los RCD, conviene señalar que, no solamente se componen de materiales que provienen de la obra en forma directa, sino que en algunos casos los problemas más fuertes los ocasionan los residuos provenientes de la extracción de materiales de construcción. Por citar un ejemplo solamente, en el municipio de Gómez Palacio en Torreón, Coahuila, el problema de contaminación por RCD lo generan los desechos de una cantera de mármol. Según datos del titular del Departamento de Ecología en el Municipio, Miguel Puente Zamarripa, se generan diariamente alrededor de 450 toneladas de masilla o residuos de este material que son depositados en sitios que se encuentran casi al límite de capacidad de acopio<sup>16</sup>.

En relación con los RCD que se generan exclusivamente por las labores de construcción, se estima que un metro cuadrado de obra genera un volumen de RCD de 0.068 m<sup>3</sup>, es decir, considerando un peso volumétrico de 1.5 toneladas, se obtiene que se generan 103 kg de RCD por m<sup>3</sup> de obra<sup>17</sup>.

La tendencia de generación de RCD se encuentra en continuo crecimiento. Esto se comprueba si tomamos en cuenta que de 1999 existen publicaciones que refieren que la industria de la construcción de la Ciudad de México generaba alrededor de tres mil toneladas de RCD al día<sup>18</sup>, en 2004 esta cifra se elevó a cuatro mil toneladas al día<sup>19</sup>, de los cuáles únicamente el 15% se estimaba eran dispuestos de manera adecuada, dejando un 85% de residuos dispuestos clandestinamente en quebradas, caminos, barrancas etc, contaminando aún más el ecosistema

<sup>12</sup> **WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT** (julio 2009) *Recycling Concrete: Executive summary* Extraído del sitio web de: la CSI el día 05 de noviembre del 2010 de: [www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf](http://www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf)

<sup>13</sup> **MILLER G. & HARDIE M.** citados en **DROGEMULLER R et al** (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press p. 97

<sup>14</sup> **LA CRÓNICA**, (marzo, 2010) *Unidad Aldana, 100% sustentable*: GEO, [versión digital], extraído el 10 de octubre del 2010 de: [http://www.cronica.com.mx/nota.php?id\\_noticia=492750](http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_noticia=492750)

<sup>15</sup> **HOMEX**, (2009) *Reporte anual 2009*, Extraído el 01 de enero de 2013 de: [http://www.homex.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60&Itemid=64](http://www.homex.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=64). P.41

<sup>16</sup> **EL SIGLO DE TORREÓN** (Jun. 2007) *Se generan 450 toneladas de residuo de mármol al día*, [versión digital] Extraído del sitio web del Siglo de Torreón el día 05 de noviembre del 2010 de: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/279267.se-generan-450-toneladas-de-residuo-de-marmol.html>

<sup>17</sup> **RIVERA MERA C.** (2007) *Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el valle de México y propuesta de solución* (Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México) México: UNAM p. 40

<sup>18</sup> **JICA** (1999), citada en: **RIVERA MERA C., J.**, (2007) *op cit.*

<sup>19</sup> **BUSINESS NEWS AMERICAS**, (Noviembre 2004) *Inauguran centro de reciclaje para residuos de la construcción*, Extraído el 05 de noviembre del 2010 de: [http://www.bnamericas.com/news/aguasresiduos/Inauguran\\_centro\\_de\\_reciclaje\\_para\\_residuos\\_de\\_la\\_construccion](http://www.bnamericas.com/news/aguasresiduos/Inauguran_centro_de_reciclaje_para_residuos_de_la_construccion)

y la seguridad de los habitantes<sup>20</sup>. Para el 2007 la cifra de cuatro mil toneladas subió a seis mil toneladas de escombros diarios<sup>21</sup>.

Según datos de la empresa de consultora J.H. de la Reguera, se estima que en el Distrito Federal, se generan los volúmenes de escombros mostrados en Tabla 1, y que van de acuerdo al tipo de edificación.

**Tabla 1. Volumen de escombros<sup>22</sup>**

Tipo de construcción	Sin demolición	Con demolición
Habitacional	0.38	0.63
Edificios habitacionales o de oficinas	1.75	2.60
Edificación industrial	0.30	0.20
Vivienda económica	0.15	
Urbanización	0.10	
Caminos y carreteras	0.32 m3/ha.	

\*Volumen de escombros (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

Al gran problema que representan los residuos en general, se le aúna en México la escasa cultura del reciclaje o reutilización (ver ANEXO 1), y por si esto fuera poco, a pesar de que la mayoría de los materiales de la construcción son llamados "inertes", existen, entre los más comunes, algunos que por su composición físico-química son altamente dañinos para el ser humano y el medio ambiente. El ejemplo más común quizá lo sea el asbesto, también conocido como *amiante* (ver ANEXO 2).

Los materiales que en volumen representan la mayor cantidad de RCD en México son: el material producto de excavaciones seguido del concreto y de bloques o tabiques, tal y como se puede observar en la gráfica y tabla de porcentajes aproximados de los componentes de los residuos de la construcción proporcionada por la Secretaría de Medio Ambiente del D.F. y citada en el trabajo de Rivera Mera (2007).

<sup>20</sup> SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE DEL D.F. (2002), citada en: MARTEL VARGAS, G.J. (2008) *Caracterización de Residuos de la construcción y demolición de edificaciones para su aprovechamiento* (Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México) México: UNAM p. 6

<sup>21</sup> EL UNIVERSAL. (Febrero 2007) *Materiales de reciclado, lo nuevo en la construcción de viviendas*, [versión digital] extraído el 03 de Octubre del 2010 del sitio web del Siglo de Torreón.com.mx: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/262138.materiales-de-reciclado-lo-nuevo-en-la-constr.html>

<sup>22</sup> CORTINA RAMÍREZ, J. M. (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. (Tesis para obtener el título de Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción, Universidad de las Américas Puebla) [versión digital] extraída el 10 de noviembre del 2010 de: [http://cortina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/cortina\\_r\\_jm/ind ex.html](http://cortina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/cortina_r_jm/ind ex.html)

Como se puede ver, el acero, si bien no es un material que frecuentemente se halle formando parte de los RCD, a través de este material podemos entender la importancia del reciclaje y la reutilización y así extrapolar los principios que en él se apliquen para lograr su aprovechamiento maximizado, a componentes hechos a partir de otros materiales que tengan el mismo potencial de reciclabilidad. Por otra parte, lo que reflejan los datos que a continuación se presentan (Tabla 2), no podía ser de otra manera, si tomamos en cuenta que el concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra, después del agua<sup>23</sup>, produciéndose cada año alrededor de 25,000 millones de toneladas a los cuales se suman más de 85,000 millones de metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de edificios ya construidos en el planeta<sup>24</sup>, datos que se confirman en el proyecto "Getting the numbers right" (ver ANEXO 3).

RCD	Porcentaje del total de RCD
Material de excavación	43.19%
concreto	24.39%
Block, tabique	23.34%
Tablaroca, Yeso	4.05%
Madera	1.52%
Cerámica	0.85%
Plástico	0.72%
Piedra	0.62%
Papel	0.49%
Varilla	0.48%
Asfalto	0.25%
Lámina	0.09%

**Tabla 2 Composición física de los RCD en México. Fuente: SMA 2004 citado en: RIVERA MERA (2007)**

<sup>23</sup> VASCONCELOS, Nora. (febrero 2010) *EU, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto Op. cit.*

<sup>24</sup> VASCONCELOS, Nora. (febrero 2010) *Se solicitan toneladas de escombros*, Extraído del sitio web de: CNN Expansión el día 05 de noviembre del 2010 de: <http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/02/05/tiempo-de-reciclar>

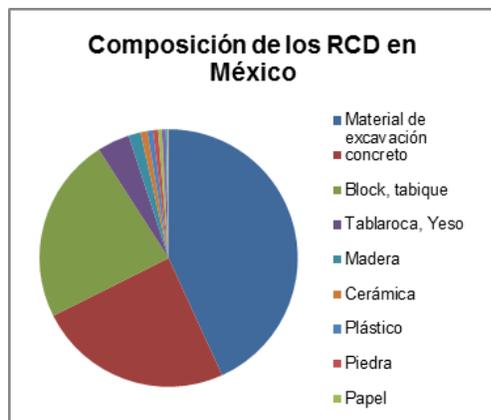


Ilustración 5 Composición física de los RCD en México. Fuente: SMA 2004 citado en: RIVERA MERA (2007)

de producción y consumo vigentes en los países industrializados y el uso racional de los recursos naturales y la capacidad de soporte de los ecosistemas.<sup>30</sup> Con este antecedente se dio el surgimiento de nuevas filosofías, como el ecodiseño,<sup>31</sup> que propondrían soluciones a estos problemas.

No obstante estas filosofías emergentes y su aplicación en distintas ramas de la industria, la industria de la construcción (en función del tema que aquí concierne) no las incorporó a su quehacer cotidiano de manera inmediata, si no que por el contrario, las primeras acciones que tuvieron lugar, fueron: la desconstrucción -de elementos carentes de un diseño que facilitara esta tarea- y el reciclaje de RCD. Estas acciones al no atacar el problema desde un punto de vista sistémico, sino enfocándose únicamente al fin del ciclo de vida de los materiales, derivan por lo general en procesos poco rentables.

## >1.5 El interés de la industria de la construcción por el medio ambiente

Desde hace más de ciento cincuenta años, algunos investigadores y políticos alertaron sobre la necesidad de equilibrar el crecimiento económico e industrial con la conservación del medio ambiente<sup>25</sup>, sin embargo no fue sino a partir de la segunda mitad del siglo XX que se hace manifiesta esta preocupación con la realización de las primeras protestas sobre la difusión de la energía nuclear<sup>26</sup>, la declaración de Estocolmo<sup>27</sup> y la publicación de "Los límites del crecimiento" por el Club de Roma<sup>28</sup> en 1972.<sup>29</sup> En 1987 se publicó el primer informe que planteara la posibilidad de obtener un crecimiento económico basado en políticas de sostenibilidad (por primera vez se define este término) y expansión de la base de recursos ambientales, destacando la incompatibilidad entre los modelos

### >1.5.1 Las soluciones "superficiales"

Darle una "nueva vida" a los materiales o componentes de edificación que ya han cumplido un primer ciclo de vida útil requiere de actividades que pueden comenzar desde las etapas de diseño mismo (tal y como se verá más adelante con la práctica de filosofías como el "ecodiseño" o "residuo cero") o bien hasta el final del ciclo de vida de los materiales o componentes. Ésta última opción implica:

- Una desconstrucción de elementos carentes de un diseño que facilite esta tarea, y/o
- Un proceso de reciclaje de RCD.

Se hace referencia a estas dos tareas como "soluciones superficiales" no porque no sean buenas o importantes, al contrario, resultan trascendentales para mitigar en la medida de lo posible el impacto ambiental de construcciones antiguas, o de aquellas que emplean el concreto como principal material de construcción, tal como lo muestra la Ilustración 6, sin embargo no son, por mucho, suficientes para abatir los problemas ya comentados con anterioridad y mucho menos para resarcir los daños ya causados. Son soluciones que no atacan el problema de fondo, pero que se tienen que poner en

<sup>25</sup> CAPUZ RIZO, S, Et al. (2004) Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles, España: Universidad Politécnica de Valencia, p. 24

<sup>26</sup> PONTING (1992) citado en WADEL, R. G., (2009) La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda, (Tesis de doctorado por la Universidad Politécnica de Cataluña) España: UPC, p.16

<sup>27</sup> La Declaración de Estocolmo (1972), aprobada durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, es la primera vez en la que se introduce en la agenda política internacional la dimensión ambiental como condicionadora y limitadora del modelo tradicional de crecimiento económico y del uso de los recursos naturales. (AGENDA LOCAL 21 (2004) 1972 Conferencia de Estocolmo, extraído el 01 de noviembre del 2011 de: <http://www.oarsoaldea.net/agenda21/es/node/6>)

<sup>28</sup> En 1970, el Club de Roma, una asociación privada compuesta por empresarios, científicos y políticos, encargó a un grupo de investigadores del Massachusetts Institute of Technology bajo la dirección del profesor Dennis L. Meadows, la realización de un estudio sobre las tendencias y los problemas económicos que amenazan a la sociedad global. Los resultados fueron publicados en marzo de 1972 bajo el título "Los Límites del Crecimiento". (AGENDA LOCAL 21 (2004) Op cit)

<sup>29</sup> THE CLUB OF ROME. The story of the club of rome, Extraído el 13 de octubre del 2010 de: <http://www.clubofrome.org/eng/about/4/>

<sup>30</sup> Agenda local 21 (2004) Op cit.

<sup>31</sup> El origen del término ecodiseño se remonta a 1989 cuando fue empleado como título de la publicación desarrollada por la Asociación de Diseño Ecológico (EDA, por sus siglas en inglés) GARCÍA P, B. (2008) Ecodiseño: nueva herramienta para la sustentabilidad, México: Designio, p. 31

práctica cuando no queda otra opción, a pesar de que en ocasiones resulten sumamente complicados, y demanden de grandes inversiones para su realización.

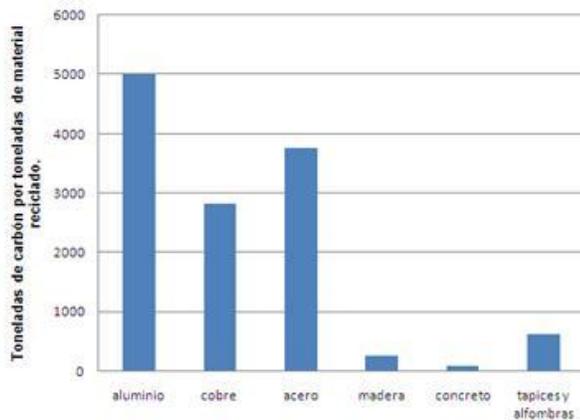


Ilustración 6 Promedio de CO2 eq. reducido gracias al reciclaje de diferentes materiales provenientes de la construcción o demolición. LEROUX K, & SELDMAN, N. (2000)

### >1.5.1.1 El reciclaje de los residuos de construcción o demolición (RCD)

La industria de la construcción en nuestro país ha hecho un esfuerzo por acercarse a la cultura tecnocentrista<sup>32</sup>. En el caso del acero, no existen cifras exactas de la cantidad de material que es reciclado en México, pero es un hecho que México pone de su parte para que el acero sea el material más reciclado en el mundo con una tasa de reciclaje de aproximadamente 67%, mucho mayor a la que tienen otros materiales como el papel, el cartón o el plástico<sup>33</sup>. En lo que se refiere a otros materiales que forman gran parte de los RCD en México, vale la pena mencionar que la creación y operación de la empresa Concretos Recicladados S.A. de C.V., dedicada al reciclaje de cascajo, es otro ejemplo de esta nueva tendencia que busca romper en parte los esquemas tradicionales de ciclo lineal. Según cifras proporcionadas por la misma empresa y citadas en Martell Vargas (2008), la cantidad de cascajo reciclado en el Distrito Federal del 2005 al 31 de julio del 2008 en promedio era de 94 toneladas diarias (Tabla 3).

Tabla 3 Cantidad de cascajo reciclado en el D.F. Fuente: MARTEL VARGAS (2008)

Año	Cantidad reciclada al año		Cantidad diaria en toneladas
	volumen m3	toneladas	
2005	34,288	44,574	122.1
2006	17,706	22,368	61.3
2007	20,202	26,262	72.0
2008	16,746	21,769	119.6

Es importante señalar, en este punto, los inconvenientes particulares de esta práctica de reciclaje de RCD:

- El material producto del proceso de reciclaje es de menor calidad al material primario, provocando que en un futuro sea cada vez más difícil la reutilización, o el reciclaje de dichos materiales, ya que como producto final solo se obtienen agregados pétreos, mismos que están muy lejos de ser las piezas cerámicas, los ladrillos, los blocks o el acero que inicialmente se utilizó.
- Resulta poco rentable a pequeña escala dado que requiere de una demolición selectiva misma que actualmente solo se practica en grandes obras pues los requerimientos necesarios son, según refiere Concretos Recicladados S.A. de C.V.:
  1. Contar con una superficie lo suficientemente grande y adecuada, no solo para realizar la propia actividad, sino también para el amortiguamiento del impacto al medio ambiente, áreas verdes, oficinas, talleres, estacionamiento vehicular, caminos de acceso, etc.
  2. Separar y almacenar los diferentes tipos de desechos que se reciban de acuerdo a su composición. Esto es, separar arcillas, materiales producto de demolición o sobrantes de construcción, fresados, etc.
  3. Contar con riegos de agua por aspersión para la estabilización de polvos. En el caso particular de Concretos Recicladados, la actividad se desarrollará en una depresión de 30 m. de profundidad que facilita la precipitación de los polvos dentro de la misma superficie.
  4. Los vehículos que transporten desechos de la construcción deberán utilizar rutas que sean las más convenientes a fin de evitar conflictos viales, procurando que circulen con lonas para evitar el derrame de

<sup>32</sup>El concepto de cultura **tecnocentrista** lo define García P. como aquella cultura basada en principios de progreso, eficiencia, racionalidad y el control para el manejo del medio ambiente mediante la ciencia y la tecnología. GARCÍA P., B., (2008) Op cit p.74

<sup>33</sup> CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO (s.f.) Reciclaje. Extraído el 29 de marzo de 2012 de: <http://www.canacero.org.mx/>

material y prevenir la contaminación atmosférica por la emisión de partículas.

5. Peparar el escombro, con el objeto de eliminar los residuos de contaminantes en el reciclado que aún pudiera contener, como son: papel, plásticos, madera, textiles, etc.,

- Finalmente, no se logra un reciclaje integral si no únicamente de los agregados pétreos, dando lugar a un desperdicio de otros **materiales valorizables**<sup>34</sup>.

En el contexto internacional, y en especial en países industrializados, se sabe que la actividad de reciclaje de RCD tiene porcentajes considerablemente elevados, pues se ha venido practicando desde hace más de 15 años<sup>35</sup>. Por citar algunos casos sobresalientes, tenemos las labores emprendidas para poder gestionar los residuos generados de la demolición del muro de Berlín (1989) a fin de poderlos utilizar para nuevas construcciones del tipo habitacional o pavimentación de calles; o bien en Barcelona, en donde se utilizaron residuos, en su mayoría pétreos provenientes de la demolición, para la remodelación y construcción de las nuevas instalaciones de la villa olímpica en 1992. En Dinamarca, en 1998, se llevó a cabo un proyecto de reciclaje de RCD y confección de un nuevo concreto cuando aprovechó el material resultante de la demolición de dos puentes el cuál equivalía aproximadamente a 1,400 toneladas, mismas que fueron empleadas para los cimientos y baldosas del suelo de nuevos edificios, lo cual resultó en un ahorro de quince dólares por tonelada con respecto a la demolición y deposición de material siguiendo métodos tradicionales<sup>36</sup>. También existen fuentes que señalan que en el Reino se utiliza la mayor cantidad de concreto reciclado en la actualidad, en parte por la construcción de los recintos para los Juegos Olímpicos de Londres en 2012<sup>37</sup>.

Por último, en la Tabla 4 se exponen algunos otros casos.

Tabla 4. Volúmenes de material reciclado en Países industrializados<sup>38</sup>

País	Actividad	% Reciclado
Alemania	Obras de construcción	62
	Obras de demolición	32
Dinamarca	Obras de construcción	10
	Obras de reparación	27
Holanda	Obras de demolición	63
	Edificios de vivienda	23
	Trabajos de reparación	44

Actualmente se utilizan en el mundo tres técnicas para reciclar concreto: el calentamiento, el eje de excentricidad y el molino mecánico<sup>39</sup>, y aunque no se han desarrollado nuevos métodos, el de calentamiento ha sido mejorado para reducir las temperaturas utilizadas en este proceso con el fin de que se consuma menos energía, y con ello disminuir las emisiones contaminantes.

### >1.5.1.2 La desconstrucción de elementos que carecen de esta planeación

Se le llama desconstrucción al desmantelamiento selectivo de los componentes de una edificación enfocándose en su reutilización, reciclaje y/o gestión de residuos<sup>40</sup>. La desconstrucción de elementos que carecen de una planeación que facilite esta tarea resulta una labor que pocas veces se pone en práctica y de la cual existen pocas evidencias, a pesar de tener algunos beneficios. En muchas ocasiones, esto se debe a la escasa rentabilidad que conlleva realizarla en comparación con otros métodos como es la demolición, no obstante, existen casos documentados de construcciones que a

<http://mexico.cnn.com/mundo/2010/02/18/eu-japon-y-europa-reciclan-los-desperdicios-del-concreto>

<sup>38</sup> CRUZ, G. y VELÁZQUEZ, Y. (2004) *Concreto Reciclado* (Tesis para obtener título de ingeniero civil-Instituto Politécnico Nacional E.S.I.A. unidad Zacatenca), México: E.S.I.A. [versión digital] extraída el 24 de septiembre de 2010 de:

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/handle/123456789/4860>

<sup>39</sup> VASCONCELOS, Nora. (febrero 2010) *Se solicitan toneladas de escombros*, Extraído del sitio web de: CNN Expansión el día 05 de noviembre del 2010 de:

<http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/02/05/tiempo-de-reciclar>

<sup>40</sup> LEROUX K, & SELDMAN N. (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday's buildings for tomorrow's sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A., P.1

<sup>34</sup> En el proceso de reciclaje del concreto materiales valorizables como tabiques o materiales cerámicos pasan a ser agregados pétreos de mucho menor valor.

<sup>35</sup> EI UNIVERSAL (febrero 2007) *Materiales de reciclado, lo nuevo en la construcción de viviendas*, [versión digital] extraído el 03 de Octubre del 2010 del sitio web del Siglo de Torreón.com.mx: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/262138.materiales-de-reciclado-lo-nuevo-en-la-constr.html>

<sup>36</sup> BEDOYA M., C. (junio 2003) *el concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles: La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural*, (Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster). Colombia: Universidad Nacional De Colombia, p. 29

<sup>37</sup> VASCONCELOS, N. (febrero 2010) *EU, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto*, Extraído del sitio web de: CNN México el día 05 de noviembre del 2010 de:

pesar de carecer de una planeación que facilite esta tarea, han sido desconstruidas para reaprovechar sus componentes y en consecuencia se han obtenidos beneficios económicos (ver ANEXO 4) o bien de aquellas que han sido desconstruidas por el simple hecho de ser del agrado de personas que poseen los recursos para conservarlas de manera total o parcial en otro sitio (ver ANEXO 5). Esta actividad se presenta de manera más frecuente en construcciones con un cierto valor histórico, en donde la reubicación es la única solución para conservarlas.

La diferencia de la desconstrucción con respecto a la demolición tradicional radica en que ésta última se elimina un edificio de su sitio por la vía más conveniente en términos económicos a corto plazo, minimizando empleos y maximizando escombros. Por otra parte, la desconstrucción, es un método mediante el cual se recolecta lo que comúnmente se consideraría "desperdicio" y se transforma en material de construcción útil, con el fin de dar a los materiales que forman parte de un edificio una "nueva vida" después de que el edificio como un todo no puede continuar en operación. Cabe mencionar que en ocasiones, las piezas que forman parte de los viejos edificios llegan a ser aún más valiosas que cuando el edificio fue construido.

Debido a que la desconstrucción es a menudo llevada a cabo a nivel local, la reutilización de material resultado de esta práctica no solo conserva el material sino que también produce un ahorro de energía y emisiones propias de la generación y transporte de dichos materiales.

Comúnmente se divide la desconstrucción en dos categorías: estructural y no estructural.

- La desconstrucción no estructural, también llamada "desmantelamiento fino" (*Soft stripping*), consiste en obtener componentes no estructurales, electrodomésticos, puertas, ventanas y acabados. La reutilización de este tipo de materiales es común e incluso existen, en países desarrollados, mercados en algunos sitios con empresas especialistas en el ramo (ej. Urban Ore).
- La desconstrucción estructural, por otra parte, involucra la recuperación de los componentes estructurales del edificio en cuestión.

La viabilidad económica de esta tarea varía de proyecto a proyecto. El tiempo y el costo de la labor son los principales inconvenientes. Recolectar materiales de una estructura puede

tomar semanas, mientras que la demolición tradicional se puede llevar a cabo en horas. Recuperar los materiales para una nueva estructura en el sitio, es la mejor opción en términos económicos y ambientales, sin embargo, aún sin emplearse en construcciones *in-situ*, los costos pueden ser recuperados a través de diversas fuentes, entre las que vale la pena señalar:

- La venta de materiales recuperados
- El ahorro derivado de los costos en maquinaria y equipo pesado (empleado comúnmente en la demolición tradicional), así como también en los costos derivados de la limpieza del terreno, y finalmente
- Evitando las cuotas de vertido de residuos.

Entre los múltiples beneficios de la desconstrucción encontramos que:

- Disminuye la contaminación
- Conserva la energía
- Disminuye la emisión de gases de efecto invernadero
- Disminuye los volúmenes de desecho en vertederos y la quema de basura.
- Lleva a cabo un manejo adecuado de los materiales peligrosos.
- Puede potencialmente incentivar comunidades proporcionando puestos laborales locales y nueva infraestructura.
- Puede ser una adecuada manera de capacitar al personal de la construcción ya que el desmontaje de un edificio es una excelente manera para que un trabajador aprenda a poner en pie una edificación.
- El construir edificios con materiales reciclados o reutilizados puede darle un valor agregado a la construcción.

Con respecto a este último punto, vale la pena mencionar que en Estados Unidos, el programa del "Consejo para la construcción verde" (Green Building Council) conocido como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)<sup>41</sup>, ofrece catorce puntos, de los 110 posibles, asociados con este tema expuestos en la sección de materiales y recursos de la lista de verificación para nuevas construcciones y remodelaciones mayores.

<sup>41</sup> U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, (Agosto 2010) *LEED 2009 for New Construction and major renovations checklist*, extraído el 02 de diciembre del 2010 del sitio web: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=220>

Es importante no confundir la *planeación y diseño de edificaciones para la desconstrucción* a la *planeación de la desconstrucción de elementos carentes de un diseño facilitador de esta tarea*.

Una estrategia de aprovechamiento maximizado de materiales busca, entre otras cuestiones, la adecuada desconstrucción de las edificaciones. Por otro lado, la *planeación de la desconstrucción de elementos carentes de un diseño facilitador de esta tarea*, no constituye el tema central del presente trabajo, sin embargo se expone a continuación toda vez su puesta en práctica favorece la práctica de una construcción sustentable.

Cuando se decide llevar a cabo esta práctica, es importante considerar ciertos aspectos como:

- Realizar una lista de los contactos que están en posibilidades de hacer uso del material recuperado. (Esto puede incluir empresas de comercialización de materiales de rescate, contratistas que necesiten de material recuperado para nuevas construcciones, etc.)
- Identificar, en caso de que los hubiere, cuáles de los materiales pueden ser altamente dañinos o tóxicos. (Pinturas que contengan plomo, accesorios que contienen PCB (bifenilos policlorados) y asbestos son algunos ejemplos de materias tóxicas y que requieren de cuidado especial.)
- Por lo general, y por lógica, primero se lleva a cabo un "desmantelamiento fino", es decir, un retiro de todos los accesorios, las puertas, ventanas y acabados, ya que esto formará en gran medida parte de los materiales valorizables para posteriormente dar paso al desmantelamiento de la estructura de la parte superior a la inferior hasta la cimentación de ser posible.
- Por último se realiza un inventario de materiales recuperados con el fin de hacer más fácil y eficiente el manejo de cada pieza o material recuperado.

## >1.6 Reflexiones sobre el presente

### capítulo

La mayoría de las construcciones actuales podrían ser definidas como gigantescos "monstruos híbridos"<sup>42</sup>, objetos que contienen

<sup>42</sup> BRAUNGART M., & McDONOUGH W., (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, China: North Point Press. p. 99

en sí una mezcla de materias que bien pueden reintegrarse a un ciclo biológico o a uno meramente tecnológico industrial, pero que se ven imposibilitadas de hacerlo dada su precaria planeación.

La carencia de esta prevención al momento de generar las obras, aunada al escaso grado de reciclaje que se genera de estos, da como resultado impactos ambientales entre los que destacan la contaminación de suelos y mantos acuíferos. Todo esto en parte debido a que en la actualidad la alternativa más extendida para la eliminación de estos residuos sea el vertido, trayendo como consecuencia la eliminación de estos residuos sin el aprovechamiento de sus recursos valorizables, todo lo cual debe corregirse mediante soluciones de fondo, pues serán la única vía de lograr un desarrollo más sostenible de la actividad constructiva.

La industria en general, pero en especial la industria de la construcción no puede seguir extrayendo materiales, vertiendo residuos y construyendo nuevas edificaciones sin pensar que todo esto traerá consecuencias más allá de las que a simple vista se han venido percibiendo. Es necesario entender que toda la actividad industrial está acabando con los sistemas de los que dependemos, por estar todos en estrecha conexión unos con otros, en este sentido, John Muir (1988), citado en Leonard Annie(2010) nos dice:

*"si tratamos de modificar cualquier cosa por sí sola, nos encontramos con que está ligada a todo lo demás en el universo."*

En esta línea de pensamiento, es fundamental conocer y entender, entre otras cuestiones, los principios básicos de sostenibilidad, principios que por ser universales y poderse adaptar a prácticamente toda la actividad humana, es esencial poder encontrar el cauce que los ligue con la industria de la construcción. Esto en la actualidad es un reto para la arquitectura sustentable, pues el legado de las construcciones actuales (con muy pocas excepciones) no ha sido otro más que residuos inservibles y toxicidad y, aunque si bien es cierto que hoy en día se empiezan a dar algunos esfuerzos en busca del reciclaje de los residuos de construcción o en prácticas que incentiven la reutilización de ciertos componentes, debido a que estas propuestas no se centran en resolver de fondo este problema, existe una serie de inconvenientes que las hacen poco rentables o difíciles de poner en práctica.

## CONTENIDO CAPITULO II

### • BASES PARA UN NUEVO PLANTEAMIENTO

- 2.1 **Introducción**
- 2.2 **Conceptos de sostenibilidad ejes rectores para el AMM**
  - 2.2.1 **Sostenibilidad**
    - 2.2.1.1 Residuo cero (zw)
    - 2.2.1.2 Ecodiseño
- 2.3 **Estudio de los ciclos de vida**
- 2.4 **Los diferentes tipos de gestión**
  - 2.4.1 Jerarquización de las acciones en el aprovechamiento de materiales
- 2.5 **La visión sistémica de la edificación**
  - 2.5.1 La desarticulación sistémica de la edificación
- 2.6 **La constructibilidad: Antecedentes y su presencia actual como parte del diseño enfocado al AMM**
  - 2.6.1 En el contexto internacional
  - 2.6.2 En el contexto nacional
  - 2.6.3 El estado del arte de la constructibilidad como herramienta para el AMM
- 2.7 **Surgimiento del concepto “Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales” a partir de estrategias de diseño afines**
  - 2.7.1 Estrategias de diseño afines
  - 2.7.2 Concepto de EPyDAMM
- 2.8 **Reflexiones sobre el presente capítulo**

## CAPÍTULO II

### **BASES PARA UN NUEVO PLANTEAMIENTO:**

Aprovechamiento Maximizado de Materiales.

...“ el reciclaje y la reutilización fueron en un principio utilizados debido a la falta de avances tecnológicos para obtener fácilmente los recursos y así fabricar nuevos componentes de construcción. Ahora, estas prácticas serán retomadas debido a que tanta tecnología y tanta explotación de materiales han acabado con los recursos materiales y energéticos. ”...

(B.M. Gordon, 1997)

#### **>2.1 Introducción**

A lo largo del presente capítulo se buscará profundizar las bases sobre las que se pretende desarticular el problema que ya se ha referido en el capítulo anterior. En principio, se dará un breve acercamiento a los conceptos que sirven de ejes rectores y base de la investigación presente, los cuales son:

- Ecodiseño, y
- Residuo Cero

Posteriormente nos apoyaremos de un análisis sistémico de las edificaciones para entender el concepto de estratos y de ciclos de vida, que más adelante serán retomados, cuando se planteen los principios para el AMM; enseguida se discutirán los conceptos bajo los que se enmarcan los diferentes tipos de gestión y/o acciones para lograr el AMM (reciclaje, reutilización, mantenimiento etc.). Finalmente, como base para un nuevo planteamiento que busque una solución de fondo a los problemas planteados, se dará un breve resumen sobre la evolución tecnológica de la construcción metálica en cuestiones relacionadas con los avances hacia el cierre de los ciclos de vida en este tipo de materiales a través del concepto de *constructibilidad*, mismo que será explicado más adelante. El texto contará con un marco temporal definido a partir del siglo XVII, aproximadamente, y hasta nuestros días; se partirá comentando el caso de estructuras hechas a base de madera y posteriormente de hierro, por ser, ambos, materiales que empezaron a ser objeto de los avances técnicos y posteriormente tecnológicos para su desensamble en estructuras, antes de que existiera el acero. De esta manera, no

se profundizará en aquellas prácticas de desconstrucción que se dieron en la antigüedad, a las que hacen referencia autores como Peters (1997)<sup>43</sup>, Herbert (1978)<sup>44</sup> o Crowther (1999)<sup>45</sup> pero que sin lugar a dudas, es gracias al invaluable conocimiento que tenemos hoy en día de ellas que ha sido posible el entendimiento de la evolución de muchas ramas de la actividad humana, entre ellas la que a continuación se relata.

En este sentido, tal y como se comentó en la metodología, y tomando como punto de partida el planteamiento de Drogemuller R *et al*<sup>46</sup>, se buscare ahondar sobre las siguientes tres cuestiones que juegan un papel decisivo para llegar a una posible solución al problema planteado.

#### **Un modelo sistémico de construcción ambientalmente sostenible.**

Analizar una edificación a partir de un modelo sistémico consiste en ver a la edificación como parte de un macro sistema compuesto a su vez por subsistemas, retomando el enfoque de diversos autores y considerando el sistema edificio como “*un conjunto de componentes que interactúan para realizar objetivos precisos a un nivel de eficiencia dado*”.<sup>47</sup> Partir de un modelo sistémico como el que se propone, permitirá a su vez lo siguiente:

<sup>43</sup> PETERS, T. F. (1996) *Building the Nineteenth Century*, E.U.A.: The MIT Press.,  
<sup>44</sup> HERBERT, G. (1978) *Pioneers of Prefabrication : The British Contribution in the Nineteenth Century*, E.U.A.:The John Hopkins University Press.  
<sup>45</sup> CROWTHER P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology.  
<sup>46</sup> DROGEMULLER R *et al* (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press, p.225  
<sup>47</sup> SÁNCHEZ, Á. (1982). *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos: introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo*. México: Trillas. p. 35

- Delimitar con claridad el caso de estudio del presente trabajo –la capa estructural–.
- Entender de manera precisa las cuestiones de aprovechamiento maximizado de materiales (AMM) que involucren más de una capa edificatoria. (detallados en el capítulo IV)
- Ser el medio a través del cual se entienda el vínculo entre el sistema caso de estudio de la presente investigación, y las otras capas edificatorias, muchas de las cuales hacia las cuales es posible interpolar varios principios de AMM.

### La comprensión de un edificio como una serie de capas de construcción relacionadas con el tiempo.

Esto es, evitar retomar enfoque estático bajo el que se planean y diseñan los edificios, en donde no se toma en cuenta de manera significativa el desarrollo, crecimiento y transformación de los mismos de sus distintas capas y en donde se olvida que se encuentran inmersos dentro de una dinámica de sistemas más complejos a partir de la cual empieza a tomar gran relevancia el flujo de los materiales y los ciclos de vida.

### Una jerarquía de acciones o tareas que reconozca el costo-beneficio de los diferentes escenarios de finales de ciclo de vida para lograr un aprovechamiento maximizado de los materiales (AMM), y que incluya a su vez una jerarquización de los posibles tipos de gestión de RCD.

Modelar el objeto de estudio dentro de un ámbito interdisciplinario, involucrando aspectos de tecnologías de materiales, sistemas de construcción industrializados y estrategias de eco-diseño.

## >2.2 Conceptos de sostenibilidad ejes rectores para el AMM

### >2.2.1 Sostenibilidad

El desarrollo sostenible lo entenderemos a partir de la famosa definición publicada en el informe: Nuestro futuro Común (*Our common future*) por la comisión Brundtland en donde lo definen como: “aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras a satisfacer sus propias necesidades”.

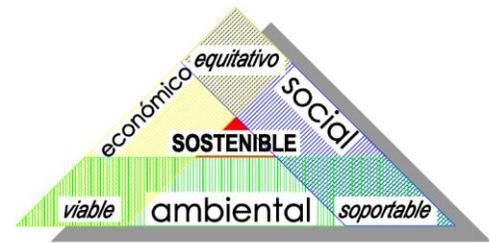


Ilustración 7 Factores de Sostenibilidad

Existen tres aspectos que de manera interdependiente juegan un papel importante en el desarrollo de este nuevo esquema de progreso sostenible, y que es necesario gestionar de manera coordinada. Estos aspectos son el económico, el social y el ambiental (Ilustración 7). Para ello han surgido filosofías y metodologías como: el ecodiseño y el residuo cero que por presentar particularidades afines al trabajo de investigación presente serán en breve comentadas.

#### >2.2.1.1 Residuo cero (zw)

Residuo cero, (*zero waste ZW*) es un concepto relativamente nuevo, surgido en la década de los 90's<sup>48</sup>. Este concepto parte de una filosofía que va en contra del desmesurado crecimiento de residuos de nuestra sociedad industrial toda vez que ponen en peligro la capacidad de la naturaleza para mantener nuestras necesidades y las de futuras generaciones. Promueve la eliminación de los residuos por completo, y no su manejo, razón por la cual se le ha denominado así y no plan de manejo de residuos. Este planteamiento busca la gestión de residuos desde su origen mediante estrategias de diseño y cambios fundamentales en la forma en la que los materiales fluyen en la sociedad actual teniendo como objetivo final una infraestructura industrial que dirija sus esfuerzos en la recuperación de los materiales en vez de a su: extracción y eliminación. Bajo esta lógica, los principios de la Estrategia De Planeación Y Diseño Para El Aprovechamiento Maximizado De Materiales (EPyDAMM) no serán otra cosa más que la aplicación de esta filosofía en el que hacer arquitectónico.

Puede parecer irreal el hecho de decir categóricamente *zero residuos*, y puede que en efecto así lo sea, sin embargo, sirve para dar una clara idea de hacia dónde se deben dirigir los esfuerzos del sector industrial. Quizá esto se entienda más si ponemos dos ejemplos extraídos del libro *The story of stuff* (Leonard A, 2010): pensemos en otras filosofías bajo las que

<sup>48</sup> URBAN ORE, *Zero waste resources*, extraído el 05 de diciembre del 2010 de: <http://urbanore.com/zero-waste-resources/>

actualmente operan diversas industrias, filosofías como: "cero defectos", por decir, en la industria automotriz, o "cero accidentes" en las aerolíneas. ¿Cuál sería nuestra reacción al saber que la política de una aerolínea fuera "reducción de accidentes"? Sabemos que en términos realistas esto es lo que buscan ya que esporádicamente éstos llegan a ocurrir, pero bajo una filosofía denominada "cero accidentes" podemos estar seguros de que obtendremos los mejores resultados posibles debido a que los esfuerzos de la empresa están bien encaminados.

La clave para alcanzar la meta de cero residuos es la prevención, tal y como lo señala Greenpeace a través de los siguientes puntos:<sup>49</sup>

- Disminuyendo el aumento en el volumen de los residuos que genera la industria.
- Logrando aprovechar los residuos valorizables en vez de destinarlos a su eliminación, y de esta manera prescindir por completo de los métodos como la incineración y finalmente,
- Eliminando el uso de sustancias tóxicas y peligrosas en los artículos de consumo.

El enfoque actual con el que se manejan los sistemas de tratamiento de residuos simplemente oculta el problema, enterrándolos en vertederos, quemándolos en incineradores o bien, tirándolos en vertederos a cielo abierto. En México a pesar de que esta última práctica da trabajo a una gran cantidad de personas que vive de la pepena, los programas de reciclaje y de cero residuos (ZW) podrían ofrecer un mayor número de trabajos más seguros, limpios y sustentables. Se dice que por cada dólar invertido en programas de reciclaje y ZW se obtienen diez veces más puestos de trabajo que con incineradores. Aparte de brindar más empleos, éstos son locales, respetables y buscan la conservación de los recursos<sup>50</sup>.

La Alianza Mundial para Alternativas a la Incineración, GAIA (*Global Alliance for incinerator alternatives*) asegura además que el enfoque "residuo cero" es uno de los más rápidos, baratos y efectivos para proteger el clima<sup>51</sup>; esto se da en función de que si por ejemplo duplicáramos la vida útil de un

automóvil se ahorrarían quince toneladas de materiales que se requieren para fabricar uno nuevo o bien reciclando papel podríamos aprovechar la madera seis veces<sup>52</sup>.

Esta filosofía puede además de traer beneficios ambientales, aportar otros en cuestiones económicas e incluso lo que algunos han llamado una revolución industrial "verde" si la vemos como una alternativa que exigirá rediseñar la producción incrementando el reciclaje. En la actualidad nuevas industrias y materiales están proliferando, aumentando el número de puestos de trabajo en este sector. Industrias que se involucran seriamente en estos temas lo han comenzado a hacer porque se han dado cuenta de que los residuos están conformados por materiales por los que se pagan buenas cantidades de dinero y porque se obtienen mayores ganancias si se compra menos material y se paga menos por la eliminación de los residuos. Un ejemplo de ello es la fabricante de alfombras Interface que con los 400 millones de dólares que ahorró mediante esta estrategia ha compensado todos los gastos que produjo la transformación de sus actividades e instalaciones para su aplicación<sup>53</sup>.

El enfoque de Cero Residuos, como se ha venido comentando, no depende exclusivamente del reciclaje. Este enfoque plantea una solución global, desde el principio hasta el fin del proceso de producción mediante la incorporación de un principio llamado de la Extensión de la Responsabilidad del Productor (*Extended Producer Responsibility* *EPR*), la cual es una estrategia que involucra a una empresa a tratar con sus productos (con una obligada preferencia hacia estrategias de reciclaje o reutilización) al final de su ciclo de vida<sup>54</sup>. En este sentido, si un producto y/o su envase no se pueden reutilizar, reciclar o compostar, el fabricante deberá asumir el coste de su retiro y eliminación segura. Mediante esta estrategia se pretende también obligar a los fabricantes a evitar la producción de artículos que contengan sustancias tóxicas, aspecto que ya referíamos anteriormente en los puntos que involucra la prevención del Residuo Cero.

En la actualidad, somos testigos de cómo el concepto de *Residuo cero* se está filtrando poco a poco de la teoría a la práctica. Aunque no existe un sitio en donde se pueda decir que se ha logrado por completo, existen muchos que podríamos decir tienen partes de esta filosofía.

<sup>49</sup> GREENPEACE, (junio 2002) *Cero Residuos: el camino a seguir*. Extraído de la página de Jaime Cuevas Rodríguez (docente de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid) el 20 de noviembre de 2010 de: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/Ciencias/jaimefa/](http://www.uam.es/personal_pdi/Ciencias/jaimefa/)

<sup>50</sup> LEONARD, A.. (2010) *The story of stuff*, Free Press NY, EUA, [libro electrónico] Locación: 5,164

<sup>51</sup> LEONARD, Annie. (2010) *Op cit.* Locación: 5,581

<sup>52</sup> GREENPEACE, (junio 2002) *Op cit.*

<sup>53</sup> LEONARD, Annie. (2010) *Op cit.* Locación:4,578

<sup>54</sup> LEONARD, Annie. (2010) *Op cit.* Locación:4,788

Alrededor del mundo existen también gobiernos que han buscado políticas de minimización de residuos con el fin de frenar la contaminación y el cambio climático. Con ello se están dando cuenta que esta filosofía es una pieza clave para el desarrollo de una estrategia económica post-industrial. Por citar algunos casos, en Alemania el reciclaje emplea a más personas que las telecomunicaciones. En Estados Unidos, se ha superado a la industria automovilística en la creación de puestos de trabajo directo<sup>55</sup>, en este país existen compañías que tienen como principal actividad económica la aplicación de esta filosofía, tal es el caso de Urban Ore (traducido literalmente como Mina urbana), en Berkeley California, o ReBuilders Source, en Bronx Nueva York. En Europa se están creando legislaciones que adoptan este principio de responsabilidad del productor. La Directiva sobre Vehículos Fuera de Uso y la Directiva sobre Residuos de Equipamientos Eléctricos y Electrónicos de la UE establecen porcentajes elevados de reutilización y reciclaje, y excluyen el uso de materiales tóxicos<sup>56</sup>. Ciudades que han adoptado políticas, metas o planes de residuo cero son: Buenos aires y Rosario en Argentina, Canberra en Australia, Oakland, Santa Cruz y San Francisco California, Kovalam en la India. En Nueva Zelanda 71% de las autoridades locales han aprobado una iniciativa que busca el residuo cero y el gobierno lleva a cabo un sistema de evaluación comparativa para medir su progreso llamada *Milestones on the Zero Waste Journey*. Algunas regiones han reducido el problema de los residuos hasta el 70% sólo con el reciclaje<sup>57</sup>, además grandes empresas como Sony, Mitsubishi, Hewlett-Packard y Toyota también apoyan este principio<sup>58</sup>.

### >2.2.1.2 Ecodiseño

El ecodiseño nace de la necesidad latente de adoptar nuevos enfoques y estrategias que permitan un desarrollo sostenible. Proyectos llevados a cabo mediante métodos de Ecodiseño tanto en Europa como en América Central, han arrojado resultados que prometen una reducción de un 30% a un 50% del deterioro del ambiente que a menudo es factible a corto plazo<sup>59</sup>.

Dado que existen diversas definiciones sobre este término tomaremos dos como punto de partida, aquella que nos proporciona Capuz Rizo,<sup>60</sup> que lo define como "una metodología de diseño que deriva del modelo de producción y organización empresarial denominado "ingeniería concurrente" y que tiene por objeto el diseño de productos y procesos industriales considerando, para reducirlo, el impacto medioambiental producido durante su ciclo de vida", y aquella un poco más breve que nos refiere la Mtra. García Parra en su obra Ecodiseño: nueva herramienta para la sustentabilidad en la que señala que "es un proceso de diseño que evalúa y pretende reducir los impactos medioambientales asociados con un producto a lo largo de su ciclo de vida".

Bajo estas dos acepciones, se puede decir que el ecodiseño es una metodología que exige a quienes planean y desarrollan proyectos, un compromiso con el medio ambiente antes, durante y después de proyectar, para alcanzar una producción sostenible. Esto hace pensar que los principios de la Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales, que resultarán del presente trabajo de investigación, podrán considerárseles como una aplicación del ecodiseño en la arquitectura, toda vez que para llevar a cabo una estrategia de ecodiseño, es necesario reformular los productos a partir del diseño mismo y la actuación proactiva a lo largo de todo su ciclo de vida<sup>61</sup>.

Es importante entender el diseño de los productos y procesos industriales como una etapa crítica en la vida de éstos y en su ecoeficiencia (ver ANEXO 6). Durante el diseño de los productos es cuando se determina casi la totalidad de su coste, su calidad y el impacto ambiental que generará, por ello es necesario que en el diseño haya, entre otros, objetivos ambientales bien definidos.

De esta forma, el ecodiseño pone de manifiesto el hecho de que el ambiente debe de tener un rango equiparable a los valores industriales tradicionales tales como: ganancias, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen y calidad, y de esta manera ayuda a definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño.

<sup>55</sup> GREENPEACE, (junio 2002) *Op cit.*

<sup>56</sup> GREENPEACE, (junio 2002) *Op cit.*

<sup>57</sup> LEONARD, A. (2010) *Op cit.* Locación: 5,587

<sup>58</sup> GREENPEACE, (junio 2002) *Op. cit*

<sup>59</sup> CAPUZ RIZO, S, *Et al.* (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia, p. 22

<sup>60</sup> CAPUZ RIZO, S., *Et al.* (2004) *Op cit.* p. 251

<sup>61</sup> PINO, R. (2010). *¿Qué es ecodiseño?* Recuperado el 07 de octubre del 2010 de sitio web Ecodiseño México: [http://www.ecodiseniomexico.org/html/que\\_es.html](http://www.ecodiseniomexico.org/html/que_es.html)

### >2.3 Estudio de los ciclos de vida

En cualquiera de las definiciones de ecodiseño, se emplea el concepto de ciclo de vida. Es importante señalar que un "análisis de ciclo de vida" (ANEXO 7), es un método distinto a lo que aquí se referirá con "estudio de los ciclos de vida" con motivo de lograr una comprensión los distintos ciclos de vida.

El ciclo de vida de los productos puede ser entendido desde dos diferentes puntos de vista, el económico o el físico. El primero a través de las etapas: Introducción al mercado, crecimiento, maduración, y saturación y declive,<sup>62</sup> y el segundo, como bien lo señala Fiksel (2009)<sup>63</sup> a través de cinco etapas que son: extracción de materia prima, producción, entrega, soporte (que incluye la utilización y mantenimiento), y finalmente el reciclamiento o más ampliamente como lo detalla el Dr. Capuz Rizo<sup>64</sup> en seis etapas con extensión en la última:

1. Extracción de materias primas
2. Procesado de materiales
3. Producción y montaje
4. Distribución
5. Uso y servicio
  - a. Reutilización, refabricación y reciclaje,
  - b. Aprovechamiento energético u otro,
  - c. Deposición en vertedero.

Para efectos del presente trabajo, únicamente se abordará el ciclo de vida físico (en lo subsecuente "ciclo de vida" o "CV"), dentro de la etapa de soporte, o uso y servicio, en la cual se encuentran a su vez dos ciclos de vida: el técnico y el de uso. A continuación se dará una definición de estos, enfocada a los sistemas o componentes de edificación.

- **El ciclo de vida técnico (CVT)**, tomando como base la definición de vida útil que hace el reporte de la red DURAR (1997)<sup>65</sup>, podría ser definido como: el Periodo en el que una estructura conserva los requisitos mínimos del proyecto sobre

seguridad y funcionalidad, requisitos mínimos de desempeño técnico, bajo una cierta estrategia de mantenimiento que evite costos inesperados. Al momento que la estructura o sub-sistema, carece de cualquiera de estas propiedades, sobrepasa el periodo de vida útil. Es decir, durante el CVT, el edificio o subsistema, debe de ser capaz de prestar en un porcentaje aceptable, el servicio para el cual se diseñó.

- **El ciclo de vida de uso (CVU)**, por otra parte es el período de tiempo durante el cual se requiere que un edificio, o subsistema dentro de él, preste un servicio determinado. En la actualidad, a causa de los cambios de uso cada vez más constantes, éste empieza a ser en ocasiones menor al CVT, inclusive en el caso de las estructuras de acero.

Aparte de estos dos ciclos de vida, existe un tercer periodo, que es una extensión del CVT al cual se le denomina "**vida residual**".

Este último periodo de tiempo inicia a partir del momento en el que la estructura no satisface los requisitos de desempeño técnico y de uso mínimo, (límite de *serviciabilidad*) y por ende necesita una reparación, remodelación o completa renovación para que regrese a un estado en el cual logre cumplir un mínimo de requisitos de desempeño técnico. La etapa de vida residual es el tiempo que tiene el dueño de la estructura, o elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta el límite de posible colapso.<sup>66</sup>

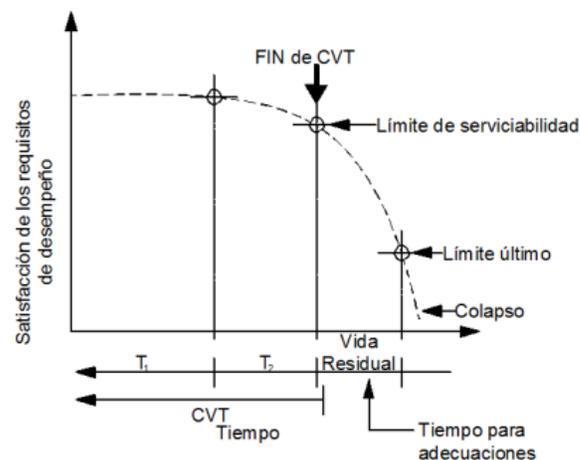


Ilustración 8 Ciclo de vida técnico y vida residual. Tomando como base el modelo propuesto por TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001).

<sup>62</sup> ECONOMIC ARTICLES, (s.f.) *Product life cycle*, extraído el 13 de agosto del 2011 de: <http://www.businessineconomy.com/product-life-cycle/>

<sup>63</sup> FIKSEL, J. (2009) *Design for environment: a guide to sustainable product development*, (2da Ed). E.U.A.: McGrawHill. p. 84

<sup>64</sup> CAPUZ RIZO, S. *Et al. Op cit.* p. 249

<sup>65</sup> RED DURAR, (1997) *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, citado en TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001) *Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad*. México: Publicación técnica de la Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del Transporte. p. 04

<sup>66</sup> TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001) *Op cit.* p. 06

Tomando como base el estudio que realiza TORRES A., y MARTÍNEZ M.,<sup>67</sup> para las estructuras de concreto podemos definir en nuestro caso que el tiempo de vida técnico (TVt) de un edificio, o subsistema dentro de él, es producto de la suma de dos periodos:

$$TVt = T1 + T2$$

En donde T1 y T2 representan los periodos de iniciación y de propagación de alguna carencia o falla. Siguiendo el ejemplo propuesto por TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001) en el caso de una estructura de concreto afectada por la corrosión, podríamos definir al T1 como al lapso de tiempo que tarda el ion cloruro en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación. En tanto T2 se refiere al periodo entre la pérdida de protección de la película pasiva y la manifestación externa de los daños por corrosión (manchas de óxido, agrietamientos, o desprendimientos de la cobertura del concreto). TVt será el periodo de vida técnica de la estructura. La etapa T2 finaliza con la formación de pequeñas grietas (con anchos menores de 0.1 mm) o manchas de óxido. El periodo T1 podría prolongarse, en el mejor de los casos, entre 50 y 100 años dependiendo de la calidad del concreto. (Ilustración 8).

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal obliga a tomar en cuenta, en el diseño estructural de cualquier tipo de estructura, la revisión de dos estados límites, de falla y de servicio. Un estado límite de servicio corresponde a la aparición de daños que requieren reparación, o a la presencia de desplazamientos laterales o vibraciones que interfieran con el funcionamiento correcto de una edificación. Corresponde al límite de serviciabilidad comentado anteriormente. A su vez, un estado límite de falla es aquel que se refiere al agotamiento de la capacidad resistente de un elemento estructural o de alguna parte de la estructura, incluyendo la cimentación, o cuando ocurren daños irreversible que afecten de manera significativa a la capacidad resistente de la estructura, y este corresponde al límite último del sistema.

De las definiciones antes citadas, resulta sensato ver el ciclo de vida de los sistemas o componentes individuales, tal y como algunos lo han denominado (Hermans 1995) el resultado de un balance entre la duración de vida técnica y la duración de vida útil, en donde la vida técnica puede ser vista como suministros y la vida de uso, la demanda de servicios en el sistema. En consecuencia, los aspectos técnicos de los sistemas o

componentes tienen como fin responder a las demandas de uso, quedando estas últimas como una variable independiente de una función en donde el CVT sería la variable dependiente. Sin embargo, en la actualidad, una gran cantidad de edificios trabajan de la manera inversa, ya que el uso que se les da queda en función de los CVT de los sistemas o componentes y de los costos económicos que conlleva adecuar estos sistemas o componentes, estáticos por naturaleza, dentro de las edificaciones.

## >2.4 Los diferentes tipos de gestión

Se sabe que la gestión de los RCD puede llevarse a cabo mediante diversos procesos que son agrupados y jerarquizados según el criterio de quien los analice, tal y como lo muestra la Tabla 5. Será, en consecuencia, pertinente definir y comentar algunas características referentes a cada uno de estos conceptos para posteriormente fijar el criterio de jerarquización a seguir en el presente trabajo.

Demolición. Se refiere a la destrucción total o parcial de una obra civil pre existente que por determinación no pueda seguir siendo utilizada, debido a diferentes criterios, los mismos que puedan darse en función de la inseguridad, insostenibilidad el desuso o simplemente el desagrado estético. Como se ha venido manejando, se sobre entiende, al emplear dicho término, que el producto de la misma será vertido, de ahí que se juzgue razonable pensar que el valor de los materiales es eliminado, trayendo consigo otros aspectos negativos como ya se han comentado que son: la afectación negativa al medio ambiente, los problemas de seguridad para los habitantes, el deterioro paisajístico entre otros.

Reciclaje. Se dice que un material se recicla cuando éste pasa por un proceso en donde, después de ser recolectado, se transforma para dar lugar a nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos. Esta actividad a su vez se divide en tres categorías: Primario, secundario y terciario, en función del valor del material que se obtiene una vez efectuada dicha gestión.

El reciclaje primario consiste en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades físicas y químicas prácticamente idénticas a las del material original.

<sup>67</sup> TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001) *Op cit.* p. 17

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES**

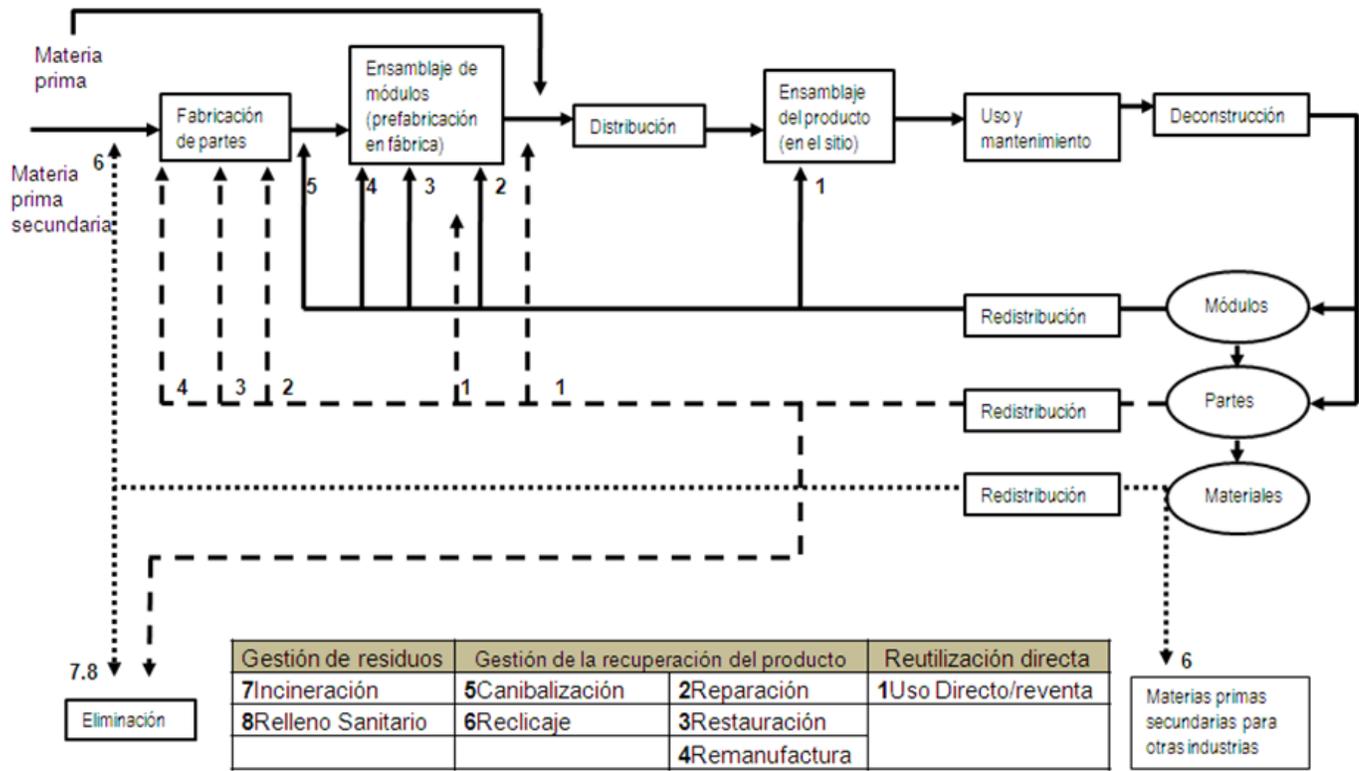


Ilustración 9. Ciclo de vida cerrado orientado a materiales la construcción. Fuente: DESIGN4DECONSTRUCTION, *Common principles*, extraído el 01 de diciembre del 2010 de: <http://www.design4deconstruction.org/principles.html>

Tabla 5 Jerarquización de las tareas para lograr un AMM

FUENTE											
Olson Timothy (2010)		LEROUX Kivi, Seldman N. (2000) ***		Crowther P. ( 2002 ) *						Milani, B. (2005)**	
Abdol Chini (2003)	Crowther Philip (2002)	Philip Kreitner (s.f.)	Crowther Philip (2000)	Guequierre (1999)	Fletcher (2000)	Magrab (1997)	Ayres (1996)	Graedel (1995)	Young (1995)	Milani, B. (2005)	Jackson (1996)
Reciclaje mejorando la calidad del material	Reutilización	Remanufactura	Reutilización del edificio	Reparación del producto	Nivel sistema	Reutilización	Reutilización	Mantenimiento	Reutilización	Mantenimiento y conservación	Reutilización
Reutilización	Remanufactura	Reutilización	Reutilización del producto	Reciclaje del material	Nivel producto	Remanufactura	Reparación	reciclaje de componente	Mantenimiento	Renovación y reutilización de la edificación	Reparación
Reciclaje primario	Reciclaje	Reciclaje	Reprocesamiento del material	Reciclaje terciario (químico)	Nivel material	Reciclaje	Remanufactura	Reciclaje de material	Remanufactura	Reutilización de los elementos de construcción	Reacondicionamiento/reconstrucción
Reciclaje secundario	Mantenimiento	Demolición	Reciclaje	Vertido		Reciclaje terciario (químico)	Reciclaje		Reciclaje	Reutilización de los materiales	Reciclaje
Vertido						Vertido				Reciclaje primario de los materiales	
										Reciclaje secundario o terciario de los materiales	
										vertido	

\* Crowther P. ( 2002 ) *Developing an inclusive model for design for deconstruction* . Brisbane, Australia: Queensland University of Technology , Design for deconstruction and materials reuse, CIB Publication 266, Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting; 6 April, Wellington, New Zealand . p. 17

\*\* Milani, B. (2005) *Building materials in a green economy. community-based strategies for dematerialization*. Tesis de Doctorado por la Universidad de Toronto, extraído el 20 de mayo del 2011 de <http://www.greeneconomics.net/MilaniThesis.pdf>. . p. 104- 105

\*\*\* LEROUX Kivi, Seldman N. (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday’s buildings for tomorrow’s sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A., P.4

El reciclaje secundario radica en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades inferiores a las del producto original. Como ejemplos se tienen los termoestables o plásticos contaminados.

Por último el reciclaje terciario o llamado también reciclaje químico persigue el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos de materiales como el plástico, mediante su transformación en hidrocarburos, mismos que pudieran ser reintegrables nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o bien en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero.<sup>68</sup>

Existe una variación considerable entre los beneficios que aporta el reciclaje dependiendo de los tipos de reciclaje y del material a reciclar, tal y como lo refiere Thormark<sup>69</sup>, al hacer alusión al aluminio y citando que mientras que en el reciclaje de este material se ahorra un 95% de la energía que se emplea para su producción, el reciclaje de la lana de vidrio solo ahorra un 5%. Esto significa que para el aluminio la diferencia entre el reciclaje y la reutilización es muy poca, mientras que para la lana de vidrio si hay una considerable diferencia entre la reutilización y el reciclaje.

Reutilización. Se dice que un material se reutiliza cuando es vuelto a usar una y otra vez sin "tratamiento", es decir, en un mismo estado, sin un reprocesamiento de la materia. En ocasiones se le conoce también como reciclaje directo. Dentro de esta actividad, tal y como lo apunta Cortina Ramírez<sup>70</sup> también existen diversas subcategorías: Reutilización directa, reutilización en otras obras y reutilización previa transformación.

Componentes constructivos como puertas, ventanas, alfombras, plafones, vigas, muebles sanitarios, revestimientos, tejas, ladrillos son, entre otros, componentes que pueden ser reutilizados sin la necesidad de su procesamiento previo. Por ejemplo, una alfombra modular, colocada con un adhesivo adecuado

puede reutilizarse varias veces en un mismo proyecto o en varios.



**Ilustración 10** Ejemplo de alfombra modular reutilizada en oficinas.

La reutilización directa se presenta cuando se utilizan los residuos en el mismo sitio en el que fueron generados. Es en este caso cuando se obtiene un ahorro maximizado de los materiales, tiempos y un menor impacto ambiental.

La reutilización en otras obras se refiere a la categoría en la que surge la necesidad de transportar los residuos desde una obra a otra con el costo económico y ecológico que ello implica. Esta opción incluye a su vez, dos alternativas: Reutilización dentro de una misma empresa o reutilización por otra empresa. En el primer caso la empresa se beneficia porque no compra ciertos materiales, y no paga cuotas de vertido de los mismos, en el segundo caso se realiza la venta de los residuos a otra empresa constructora, para lo cual es necesario fijar precios y condiciones de suministro.

La reutilización previa transformación incluye la modificación de la forma y propiedades originales de los productos, es decir que los materiales, una vez modificados, se utilizan como materias primas de nuevos productos, en la misma obra, en otra obra de la misma empresa, o vendidos a otras empresas constructoras. Un ejemplo puede darse con el mobiliario de madera que puede ser transformado y reutilizado sin necesidad de atravesar un proceso de reciclaje.

Es importante tomar en cuenta que existen diversos aspectos que actúan como limitantes de la implementación del reciclaje y la reutilización entre los que figuran:

- Existencia/inexistencia de mercados para los materiales recuperados.
- Calidad de los materiales y productos provenientes de la recuperación.
- Irregularidad en el suministro.
- Insuficiente normativa y exigencia de su cumplimiento.

<sup>68</sup> **ARANDES, J. Et al** (2004) *Reciclado de residuos plásticos*. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 5(1), [versión electrónica] consultada el 27 de noviembre de 2011 de: <http://www.ehu.es/reviberpol/> P. 31

<sup>69</sup> **THORMARK, C.**, (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología. p. 63

<sup>70</sup> **CORTINA RAMÍREZ, J. M.** (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. (Tesis para obtener el título de Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción., Universidad de las Américas Puebla) [versión digital] extraída el 10 de noviembre del 2010 de: [http://cotarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/cortina\\_r\\_jm/ind ex.html](http://cotarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/cortina_r_jm/ind ex.html) p. 42-43

- Menor costo de otras alternativas para el manejo de residuos
- Alto costo de las instalaciones para el reciclaje.
- Falta de conciencia ambiental generalizada.

Remanufactura. Finalmente se entiende la remanufactura como un proceso que tiene como principal característica la utilización de partes o componentes recuperados de los bienes de desecho o desperdicios que han perdido su vida útil y cuyas partes se encuentran en buen estado. Este proceso consta de cinco etapas escalonadas básicas: desensamble total de partes o componentes individuales; lavado y limpieza de insumos recuperados; identificación e inspección de elementos; restauración, salvamento o recuperación de materiales y su posterior almacenaje; manufactura y/o ensamble.<sup>71</sup>

### >2.4.1 Jerarquización de las acciones en el aprovechamiento de materiales

Antes de exponer de manera comparativa esta clasificación de las tareas en el aprovechamiento de los materiales de construcción, recordaré que esta jerarquización no es absoluta, y por ello es posible observar discrepancias entre la forma en como diferentes expertos abordan el tema (Tabla 5) o bien en casos particulares en donde el aprovechamiento de materiales se dé a través de una jerarquización distinta a la que a continuación se presenta. La Ilustración 11 muestra de manera descendente las acciones que deben ponerse en práctica en función de lograr un AMM.

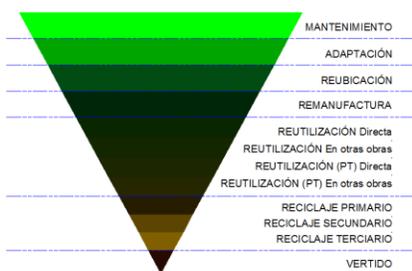


Ilustración 11 Pirámide invertida para la disminución de los residuos. Inspirada en la pirámide de Miller et al (2006)

Mantenimiento = Un mantenimiento adecuado y frecuente representa a menudo la mejor opción para el aprovechamiento de materiales, toda vez que se traduce en un deterioro mínimo

de una estructura y causa a su vez un mínimo impacto ambiental. John Ruskin quien a pesar de ser criticado por ir en contra de la restauración de los edificios al pronunciarse a favor de dejar que "muriesen dignamente", también hablaba a favor su conservación y citando las palabras del Dr. Núñez Prado<sup>72</sup>, decía "consérvese oportunamente los monumentos y edificaciones y no se tendrá que restaurarlos"

Adaptación = A medida que los edificios atraviesan su ciclo de vida, son necesarias adaptaciones las cuales en la medida que se puedan realizar de manera fácil, traerán consigo un menor impacto ambiental en el ciclo de vida del edificio.

Reubicación = Si bien esta opción es poco aplicable para edificaciones comunes, y es más frecuente en estructuras de tipo temporal como por ejemplo: pabellones o refugios móviles, reubicar una edificación planeada para ser movida, representa, la mayoría de las veces, mucho menor impacto que construir una similar en un sitio distinto.

Remanufactura = Este concepto es ideal para aplicarse en las primeras dos opciones, en el mantenimiento o en la adaptación ya que re manufacturar elementos o componentes de edificación, permite darles a estos una nueva vida útil, con propiedades casi idénticas a las de elementos o componentes nuevos, y con un mínimo uso de energía y recursos.

Reutilización = La reutilización mantiene intactas las propiedades del elemento o componente de edificación, de esta manera no se produce ni se desperdicia energía o recursos de manera directa, pero si de manera indirecta dependiendo del tipo de reutilización del que se trate. Esta es una muy buena opción, muchas veces aún mejor que la remanufactura en cuestiones ambientales, pero mucho depende, del tipo de reutilización.

Reciclaje = Los tres niveles de reciclaje señalados en el punto anterior guardan una estrecha relación con el impacto ambiental y el aprovechamiento de los materiales, por ello el reciclaje primario es el que produce menor impacto ambiental y el terciario es realmente poco lo que se recupera de la energía y de material del producto original.

Bajo esta lógica, a medida que las acciones para el AMM progresa a través de sus diferentes niveles se van involucrando y

<sup>71</sup> **MORALES P. I.** (2008) *Remanufactura, una nueva vida útil*. Publicado en CNNExpansión y consultado el día 27 de noviembre de 2011 en: <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/tendencias/remanufactura-una-nueva-vida-util>

<sup>72</sup> **NÚÑEZ P.,** (septiembre 2011) referencias comentadas en la "Cátedra extraordinaria Federico E. Mariscal: La restauración como disciplina" Ciudad Universitaria, México D.F.

requiriendo de mayores destrezas, trabajos y compañías locales, al mismo tiempo que se reduce contaminación y el impacto ambiental. Si se llevan a cabo estas labores de manera escalonada como se ha planteado, se verá que al llegar al vértice de la pirámide invertida (Ilustración 11), la cantidad de residuos que habrá que desechar son mínimos.

## >2.5 La visión sistémica de la edificación

Una de las ventajas que nos brinda el análisis sistémico (Ver ANEXO 8 para profundizar sobre la teoría de sistemas) de las edificaciones es su conceptualización como parte de macro sistemas compuestos a su vez por subsistemas, entendiéndolas como un conjunto de materiales elementos y componentes que interactúan a través de diversas capas a lo largo de un mismo ciclo de vida a fin de satisfacer determinadas necesidades espaciales.

Los sistemas constructivos modernos son producto de las demandas masivas de sistemas arquitectónicos, que evolucionan a la par de los sistemas urbanos. Con ellos se busca servir a las poblaciones que se incrementan continuamente mediante la simplificación de la complejidad de construir edificios en gran número, a corto plazo y a bajo costo.

### >2.5.1 La desarticulación sistémica de la edificación

Analizar los sistemas edificatorios como sistemas que fluyen a un mismo ritmo resulta impráctico, toda vez que cada subsistema dentro de una construcción presenta ciclos de cambio distintos (Ilustración 12); Diversos autores han propuesto esquemas de desarticulación sistémica para las edificaciones, (ver ANEXO 9) sin embargo, tal y como lo plantea Durmisevic<sup>73</sup>, en algunos casos –no el de las estructuras de acero sin considerar la cimentación- estos niveles funcionales discutidos por Duffy & Henney<sup>74</sup>, Brand<sup>75</sup> y Leupen<sup>76</sup> son multidimensionales (Ilustración 13) y no presentan ciclos de vida consistentes. Es decir, si tomamos por ejemplo cualquiera de estos niveles, éste se

compondrá a su vez de una estructura de diversos niveles con diferentes ciclos de vida de uso y técnicos.

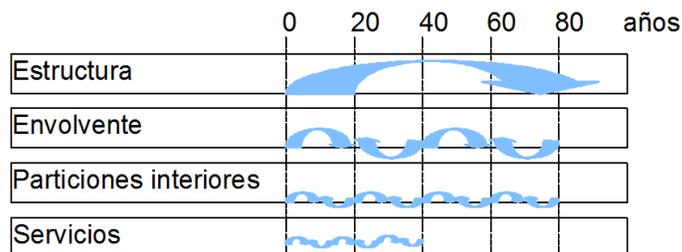


Ilustración 12 Grados de durabilidad en las diferentes capas de un edificio. Fuente: Durmisevic (2002)

Por otra parte, los niveles que propone Sánchez<sup>77</sup> (Ilustración 14), como él mismo lo menciona, son muy genéricos, lo cual da la oportunidad de integrarlos a cada uno de los niveles planteados por los autores antes citados, para evitar lo que podrían ser desfragmentaciones engañosas de la edificación aplicables a una estrategia que permita el AMM.

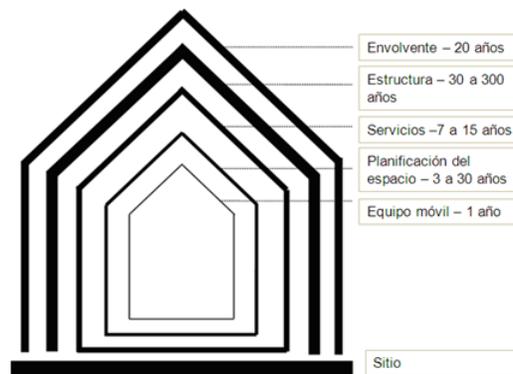


Ilustración 13 Diagrama de capas de un edificio. FUENTE: <http://www.design4deconstruction.org>

En esta lógica se hará una diferenciación de los estratos que forman parte de una edificación atendiendo:

- Su naturaleza funcional y (capa funcional)
- Su nivel de descomposición técnica.

Para referirnos a las diferentes capas según su naturaleza funcional bajo las cuales se estudiará la edificación común se seguirá la clasificación de Stewart Brand<sup>78</sup> que a continuación se resume:

<sup>73</sup> DURMISEVIC, E. (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC. p. 105

<sup>74</sup> DUFFY & HENNEY (1989) citados en OLSON T. (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A: Washington State University. p. 10

<sup>75</sup> BRAND, S. (1989) citado en OLSON T. (2010) *op. cit.* p. 10

<sup>76</sup> LEUPEN (2002) citado en BLOK, R. & Van HERWIJNEN, F. (2005) *Flexibility of building structures*, Holanda: University of Technology, p. 74 [Versión digital] extraído el 26 de noviembre del 2011 de: <http://es.scribd.com/doc/53993445/Flexibility-of-Buildings>

<sup>77</sup> SÁNCHEZ, Á. (1982). *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos: introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo*. México: Trillas. p. 35

<sup>78</sup> BRAND, S. (1989) citado en CROWTHER P. (2002) *Developing an inclusive model For design for deconstruction*. Australia: Queensland University of Technology, Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy, CIB Publication 266, Proceedings of

- Sitio: Se refiere a la ubicación geográfica, el terreno donde se asienta el edificio.
- Estructura: Son los componentes de soporte, dentro de ella se encuentra una subdivisión:
  - Subyacente: se refiere a la cimentación
  - Superior: son las vigas, columnas, tensores y todas aquellas partes que no forman parte de la cimentación, gracias a las cuales el edificio se mantiene en pie. Están dentro de esta sub-categoría las estructuras de acero que serán tratadas en el caso de estudio.
- Envolvente: Es el sistema que busca dar protección contra la intemperie y funciona como delimitante del espacio privado.
- Servicios: Son todas aquellas instalaciones para el calentamiento, ventilación, aire acondicionado, comunicaciones, etc.
- Planificación del espacio: Comprende las particiones interiores, es decir: muros y pisos falsos, plafones, etc.
- Equipos móviles: Se refiere al mobiliario.

- Materiales: Es el último nivel de descomposición técnica y corresponde a los materiales con los que se fabrican los sub-componentes.

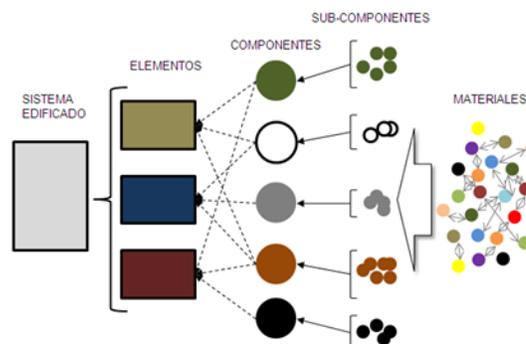


Ilustración 14 Descomposición sistémica del edificio

## >2.6 La constructibilidad: Antecedentes y su presencia actual como parte del diseño enfocado al AMM

La constructibilidad<sup>79</sup> es definida por el instituto de la construcción de los Estados Unidos (CII -*Construction industry institute*-), como el uso óptimo de los conocimientos de la construcción y la experiencia para la planeación, producción, consecución y labor de campo a fin de alcanzar los objetivos generales planteados por el proyecto, que en este caso serían, el aprovechamiento maximizado de los materiales (AMM).

Dado que la flexibilidad y la capacidad de desconstruir las edificaciones son factores importantes en el grado de aprovechamiento de los componentes que forman parte de la misma y en consecuencia de sus materiales, (como se detalló en el punto sobre la Jerarquización de las acciones en el aprovechamiento de materiales) a continuación, se verá cómo ésta búsqueda por cerrar los ciclos de vida de los materiales de construcción comparte su historia con algunos logros y avances que se han presentado en función de hacer edificios altamente flexibles, ligeros, portables o desconstruibles; es decir, de cómo se ha aplicado la constructibilidad en edificaciones con estas características que finalmente se han traducido en un mayor aprovechamiento de los materiales; por ello se presenta de

<sup>79</sup> **CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE**, (s.f.) *Constructability Improvement During Engineering and Procurement*, extraído el 07 de diciembre del 2010 de: [https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/sd5\\_more.cfm](https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/sd5_more.cfm)

the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting; 6 April 2001, Wellington, New Zealand. p. 10

manera retrospectiva esta evolución de las construcciones desmontables. Cabe señalar que en muchos de estos casos, la meta per se haya sido la de lograr el desmontaje del edificio u otra no asociada directamente con el AMM.

Es importante recordar que hablar de los antecedentes de la constructibilidad enfocada al desensamble de las estructuras en el contexto internacional, aun limitándonos en el marco temporal antes referido, que va desde finales de la edad media hasta nuestros días, resultaría en un trabajo sumamente extenso, por ello solo se mencionarán, de manera muy breve algunos casos de los más significativos y que existen referencias.

### > 2.6.1 En el contexto internacional

Si bien el proceso de dismantelar estructuras es una actividad que se ha practicado desde la antigüedad, quizá las primeras aplicaciones de la constructibilidad enfocada al desensamble se dieron en la edad media en Europa, en donde debido a la escasez de madera idónea para la construcción, la reutilización periódica de vigas y otros elementos fue una práctica común, en donde lo innovador de estas construcciones fue el hecho de utilizar clavijas de madera para conectar los miembros permitiendo a las piezas un fácil desmontaje para su reciclaje o reutilización.<sup>80</sup> De esta manera, tal y como lo señala B.M. Gordon<sup>81</sup> el reciclaje y la reutilización son prácticas que fueron utilizados en un principio debido a la falta de avances tecnológicos para obtener fácilmente los recursos y así fabricar nuevos componentes de construcción y volverán a ser empleadas irónicamente debido a que tanta tecnología y tanta explotación de materiales han acabado con los recursos materiales y energéticos.

En Asia y otras partes del mundo, se llegó también a estrategias de diseño muy similares debido a otras causales, en Japón la construcción tradicional hecha a base de madera permitía también el desensamblaje. Kiyunori Kikutake(1995) citado en Crowther(1999), afirmaba que la arquitectura japonesa a base de madera es un sistema arquitectónico completo en donde la expansión, remodelación, retiro y reconstrucción de las edificaciones es posible de acuerdo a las costumbres y estilos de vida.

Para el siglo XVI, Peter(1996) citado en Crowther(1999), asegura que en el cantón suizo de Appanzell, en donde los bosques eran propiedad de la iglesia, se les concedió a los campesinos el derecho de talar madera para sus casas en su tierra de manera gratuita, lo cual llevó a un grupo de empresarios a construir casas en sus propias tierras, y después desensamblarlas para exportarlas y ser re ensambladas en algún otro sitio.<sup>82</sup>

En el siglo XIX la tecnología del diseño para el desensamblaje de casas basándose en la madera alcanzó su nivel más elevado en Inglaterra con las casas de campo portables. Un anuncio en el periódico de 1837 describía la casa de campo portable Manning que podía ser "fabricada bajo los principios más simples, lista para su utilización después de unas pocas horas de su llegada al sitio de ubicación, capaz de tornarse en pedazos y retirarse con la frecuencia que requieran sus inquilino"<sup>83</sup>.

En 1851, Inglaterra fue sede de la "gran exhibición de trabajos de la industria de todas las naciones", feria que se llevó a cabo en el Hyde Park de Londres en un edificio temporal que a la postre sería uno de los parte aguas de la arquitectura moderna, conocido como el "Crystal Palace". El diseño fue realizado por Joseph Paxton y se basó en un sistema estructural prefabricado, relativamente simple, a base de módulos que podrían ser ensamblados y desensamblados con facilidad. De esta forma, para 1954 el edificio había sido ya transportado y reensamblado en Sydenham, sin embargo el edificio que se erigió en este nuevo sitio no fue idéntico al de la gran exhibición de 1851, sino que un poco más grande.

En el siglo XIX, un rubro que impulsó una gran demanda de edificaciones diseñadas para el desensamblaje fue el de proyectos asociados con industria bélica. Ejemplo de ello son los cobertizos "Nissen Hut" y "Nissen Hospital Hut"; ambas, construcciones que ilustran varias características idóneas de lo que es el diseño para desmontaje: El sistema se compone de elementos simples, tenía un reducido número de elementos, los componentes eran intercambiables, fueron producidas en masa, y se ensamblaron utilizando herramientas y tecnologías simples y cotidianas.<sup>84</sup>

<sup>80</sup> CROWTHER, P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology, p. 3

<sup>81</sup> GORDON, B., M. (1997) *Demolition energy analysis of office building structural systems*. Athena. Sustainable materials institute. Canada. P. 3

<sup>82</sup> PETERS (1996), p.424 citado en CROWTHER P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology. p. 3

<sup>83</sup> HERBERT (1978), p.5 citado en CROWTHER P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology. p. 3

<sup>84</sup> KRONENBURG (1995), p.59 citado en CROWTHER P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology. p. 5

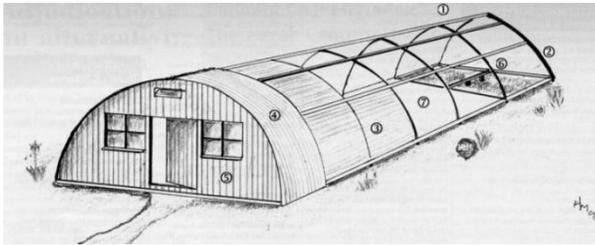


Ilustración 15 Sketch del "Nissen Hut". Extraído de: <http://www.wcremembered.co.uk/retro.html>

estaría comprando el servicio de un producto por un período definido por el usuario."<sup>87</sup>



Ilustración 16 Casa Wichita Extraído de: <http://www.wichitaphotos.org/graphics/>

Para la segunda guerra mundial, se desarrollaron técnicas similares para construir edificaciones temporales, posteriormente se buscó adecuar estas tecnologías militares para el uso civil. El arquitecto Buckminster Fuller quien en un principio diseño refugios temporales de uso militar tenía un plan para utilizar esta misma tecnología para la producción de viviendas en tiempos de paz; en 1946 rediseñó la casa Dymaxion (también llamada casa Wichita), dando como resultado una vivienda que pesaba solamente 2,722 kg y que podía ser empaquetada en un solo vehículo, estimándose que un equipo de solo seis hombres pudieran ensamblarla en un día. Tenía un costo de 6,500 Dlls (equivalente al costo de un Cadillac) sobre la base de una producción en masa limitada, pero se aseguraba que bajaría el costo a 3,700 Dlls habiendo una completa producción en masa, con una tasa de producción de alrededor de 500,000 al año.<sup>85</sup> Fuller también propuso que las construcciones deberían de rentarse a los usuarios tal como si fueran un producto al cual el proveedor daría un servicio, repararía y reemplazaría. Esto debería de permitir el que los materiales fueran fácilmente regresados a la planta de producción para una eventual reutilización o reciclaje.<sup>86</sup> Esta misma idea la retoman Braungart M., & McDonough W., autores contemporáneos de "cradle to cradle", al exponer el concepto de: *producto de servicio*, en el cual señalan que:

*"En lugar de asumir que todos los productos son hechos para ser comprados, utilizados y eliminados por los "consumidores", los productos que contienen nutrientes valiosos podrían ser vistos como servicios que la gente quiere disfrutar. En este escenario, los clientes (un término más adecuado para el usuario de estos productos)*

De 1933 a 1945 en el condado de Tennessee, Estados Unidos se apróbo y se llevó a cabo el proyecto de "casa móvil" para dar alojamiento a los trabajadores que construían presas en ese país. La casa móvil estaba compuesta a partir de secciones del tamaño de un contenedor las cuales eran entregadas en el sitio de colocación con todos los acabados e instalaciones necesarias y eran ensambladas en conjuntos de dos, tres o cuatro haciendo posible su desinstalación y reubicación en otro sitio.<sup>88</sup>

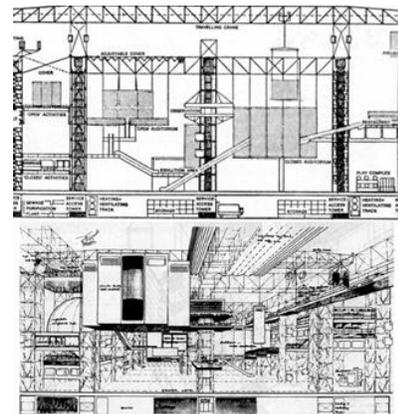


Ilustración 17 Fun palace, Cedric Price. Extraído de: [www.urbagram.net](http://www.urbagram.net)

Otro arquitecto innovador que se interesó en la tecnología industrial para ser aplicada en la construcción a fin de lograr una alta flexibilidad y portabilidad de las construcciones fue Cedric Price. Su esquema de 1961 para el Fun Palace (Ilustración 17) fue una obra de inspiración en el ámbito de los edificios adaptables. Su influencia, una década más tarde, en el Centro Pompidou de Rogers y Piano es innegable. Muchos arquitectos se vieron influidos por la obra de Price. Uno de esos grupos fue el de los arquitectos británicos, denominado Archigram. Éste grupo produjo durante finales de los años 1960's

<sup>85</sup> BALDWIN, J. (s.f.) Dymaxion House Recuperado el 29 de Septiembre del 2009 del sitio Web del Buckminster Fuller Institute: <http://www.bfi.org/about-bucky/buckys-big-ideas/dymaxion-world/dymaxion-house>

<sup>86</sup> McHALE (1962), p18-27 citado en CROWTHER P. (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology, p. 5

<sup>87</sup> BRAUNGART M., y McDONOUGH W. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, China: North Point Press, p.111

<sup>88</sup> COLIN, D. (2005) *The prefabricated hom.* (1ra Ed.). UK: Reaktion books ltd.

y principios de 1970 una corriente muy basta de diseños de edificios portátiles, adaptables y temporales. Entre los arquitectos que formaban parte de este grupo se encontraban Warren Chalk y Peter Cook.

Warren Chalk desarrolló en 1964 el proyecto de vivienda cápsula, en donde unidades de producción industrial idénticas se ensamblarían una tras otra a un núcleo de concreto a manera vertical creando en apariencia un edificio común,<sup>89</sup> mientras que Peter Cook diseñó 1966 la Gasket House, la cual sería una vivienda completamente independiente suspendida a una megaestructura. Podía dar lugar a una innumerable cantidad de posibles propuestas interiores dada la utilización de una serie de perfiles plásticos con distintos patrones, y debido a que no se restringía al ensamblaje en vertical, las unidades mostraban una actitud mas relajada en cuanto al diseño en si.<sup>90</sup>

Al mismo tiempo que esto ocurría en Inglaterra, en Japón el grupo de arquitectos denominado Metabolistas buscaban cuestiones similares. Ellos tomaron los principios de la adaptabilidad de las viviendas tradicionales de madera y las aplicaron a la arquitectura moderna de alta tecnología. La clave para el trabajo de los metabolistas era una filosofía que les permitiese la intercambiabilidad y variabilidad de componentes y módulos arquitectónicos de tal manera que no perturbasen el resto del edificio. A pesar de que mucho de este trabajo fue de carácter teórico, en la exposición mundial de 1970 en Japón se dio la oportunidad de probar algunas de las tecnologías desarrolladas para el desensamblaje.

En la actualidad los cimientos más fuertes de estas nuevas estrategias de diseño, aparte de lo ya antes mencionado, lo encontramos en trabajos como el de N.J. Habakren "sistemas de apoyo para la vivienda" (*housing "support" systems*), el movimiento *Open Building*, y los escritos de Stewart Brand referentes a la arquitectura adaptable<sup>91</sup>, además de atributos impulsados por el estilo internacional en la arquitectura desarrollado en las décadas de los 40's, 50's y 60's, tales como

construcción modular, plantas libres, elementos mecánicos y estructurales expuestos.

Es así como tenemos, hoy en día, edificaciones, mayoritariamente de tipo industrial, que poseen altos grados de constructibilidad y flexibilidad. Nicholas Grimshaw y Partners (NGP), es una firma de arquitectos que ha dedicado gran parte de su labor arquitectónica en este rubro. Quizá una de sus trabajos más representativos sea la fábrica de IGUS en Colonia (Ilustración 18), Alemania, en donde prácticamente todas las partes del edificio han sido diseñadas para ser desensamblables y reubicables sin ayuda de un especialista y, aunque el soporte estructural principal es estático, todos los revestimientos, instalaciones y accesorios son de carácter desmontable.<sup>92</sup>

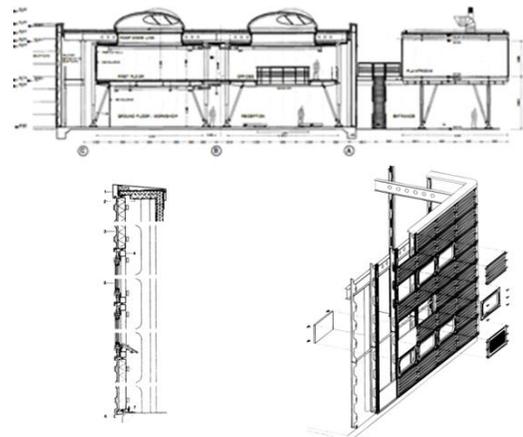


Ilustración 18 Detalles de fabrica IGUS extraído de KRONENBURG, R. (2003)

Por otra parte, se han venido desarrollando otras propuestas que también permiten una desconstrucción pero a través de módulos tridimensionales ya sea mediante el uso de contenedores, como lo propone el sistema constructivo "container city" o empresas como Habitainer, que basan la oferta de sus productos en la reutilización de contenedores de transporte regulador por las normas ISO<sup>93</sup>, o bien con módulos con dimensiones propuestas por arquitectos como es el caso de los arquitectos Guggenbichler y Netzer en Alemania que resolvieron en 1997 construir un edificio a base de módulos tridimensionales de alquiler de 2.44 x 2.80 metros de alto y 6 de largo<sup>94</sup>. Otro ejemplo es el de la empresa Algeco que alquila y

<sup>89</sup> COOK, P. (1972). *Capsule Homes Project*. Recuperado el 31 de Enero del 2010 del sitio Web de The Archigram Archival Project: <http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?id=58>

<sup>90</sup> COOK, P. (1972). *Capsule Homes Project*. Recuperado el 31 de Enero del 2010 del sitio Web de The Archigram Archival Project: <http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?id=75>

<sup>91</sup> BRADLEY, G, et al. (s.f.) *Design for Deconstruction and Materials Reuse*, extraído el 29 de noviembre del 2010 de: <http://www.recyclecddebris.com/rCDd/Resources/CaseStudies.aspx>, citado de (Habakren, 1981; Kendall y Teicher, 2000; Brnd, 1994)

<sup>92</sup> KRONENBURG, R. (2003) *Portable Architecture*, (3ª Ed.), U.K.: Elsevier. p. 125-135

<sup>93</sup> WADEL, R. G., (2009) *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*, (Tesis de doctorado por la Universidad Politécnica de Cataluña) España: UPC. p.134

<sup>94</sup> WADEL RAINA, G., op cit. p. 134

vende módulos ya sea para su uso individual o bien para la construcción de edificios de todo tipo de usos<sup>95</sup>

Actualmente edificios construidos para tener un flujo de materiales completamente cíclico y cerrado son prácticamente inexistentes, sin embargo un caso que se acerca mucho a esta visión es el Centro de Visitantes de Glencoe National Trust en Escocia por los arquitectos de Gaia. El edificio cuenta con una base de hormigón, una estructura de madera completamente atornillada, y la mayoría de los acabados, incluyendo un suelo de madera pueden ser completamente removidos y son reciclables o completamente naturales. Por razones estéticas algunas áreas externas e internas se empastaron, lo que reduce la capacidad de reciclaje de estas áreas.<sup>96</sup>

### >2.6.2 En el contexto nacional

En México los casos de estructuras planeadas para ser en un futuro desensamblados son pocos, y dentro de esos pocos, podríamos señalar que una gran parte de ellos son de fabricación europea y pertenecen al periodo del gran auge industrial que se dio en Europa con la producción y moldeo del hierro a finales del s. XIX y principios del s. XX, periodo en el que se produjeron una gran cantidad de estructuras y envolventes a base de techos de lámina, paredes a base de placas embutidas fijadas con remaches y estructuras metálicas con el fin de ser exportadas a las colonias.

Dentro de este tipo de edificios, quizá de los más representativos que actualmente se encuentren en servicio, está el edificio que actualmente alberga el Museo Universitario del Chopo. Este edificio fue construido por la empresa metalúrgica Guttehoffnungshütte bajo el diseño de Bruno Möhring para la Exposición de Arte e Industria Textil de Düsseldorf, Alemania a finales de 1902.<sup>97</sup> Este mismo año el empresario mexicano José Landero y Coss, interesado en situar en dicha estructura la Compañía Mexicana de Exposición Permanente,<sup>98</sup> compró tres de sus cuatro salas de exhibición. Gracias a su proceso de fabricación y construcción industrializado, a partir de elementos

modulados de hierro unidos mediante conexiones mecánicas, fue posible desensamblar y embarcar ésta construcción a México, para posteriormente ser armado en la colonia de Santa María de la Ribera. Evidentemente, fue solo la estructura y parte de la envolvente lo que se reutilizó de manera íntegra, pues los sistemas constructivos de aquella época seguían empleando el tabique prefabricado como solución para el relleno de los muros, incluso en este tipo de construcciones industriales.

En esta misma colonia, Santa María de la Ribera, un caso similar se presenta con el quiosco ubicado en su alameda. Ésta estructura fue diseñada para albergar el Pabellón de México en la Exposición universal de 1884-1885 y de la feria de San Luis Missouri en 1902 y posteriormente fue desensamblado y reensamblado en la alameda, antes de que fuese construido el Hemiciclo a Juárez. Posteriormente fue trasladado a su ubicación actual. La estructura se realizó completamente en hierro fundido en Pittsburg, Pensilvania.<sup>99</sup> Otro ejemplo de este tipo de construcciones es la Iglesia de Sta. Rosalía en Baja California Sur, de la cual se dice fue diseñada por Gustavo Eiffel en el año de 1884 para la exposición universal de París de 1889 y posteriormente fue importada por las esposas de los ingenieros mineros de la empresa el Boleo, situada en Baja California sur.

### >2.6.3 El estado del arte de la constructibilidad como herramienta para el AMM

Debido, en parte al interés por introducir las filosofías sustentables antes comentadas, al quehacer de la arquitectura, y de evitar las desventajas evidentes que conllevaba efectuar una desconstrucción de elementos que carecen de una planeación que facilite esta tarea o en su defecto, el reciclaje de RCD, investigadores como Chini (ver ANEXO 10) de la universidad de Florida hacen referencia a la importancia de un diseño que prevea estas labores, al mencionar que:

*"El fin de la vida útil del edificio genera un flujo de materiales utilizados que pueden ser reprocesados para la nueva construcción. La selección de materiales para su reutilización o reciclaje no debería empezar por el final del ciclo de vida del edificio, sino en la etapa de diseño. Arquitectos e ingenieros deben mantener el ciclo de vida del edificio en cuenta y seleccionar los materiales de construcción en base*

<sup>95</sup> WADEL RAINA, G., op cit. p. 135

<sup>96</sup> SASSI, P. (2004), *Designing buildings to close the material resource loop*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157 Issue ES3, September 2004 (ISSN 1478 4637). p. 171 Recuperado el 28 de noviembre del 2011 de: <http://arch8565.wordpress.com/?s=sassi>

<sup>97</sup> CIUDADMEXICO.COM.MX (2009) *Museo Universitario del Chopo*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: <http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/chopo.htm>

<sup>98</sup> MUSEO UNIVERSITARIO CHOPO (s.f.) *Historia*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: <http://www.chopo.unam.mx/historia.html>

<sup>99</sup> CIUDADMEXICO.COM.MX(2007) *Kiosco Morisco*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: [http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/kiosco\\_morisco.htm](http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/kiosco_morisco.htm)

a su capacidad de ser reutilizados o reciclados después de que la construcción ha cumplido su propósito."<sup>100</sup>

En este sentido, recientemente se han empezado a tratar soluciones con un enfoque más profundo para la desconstrucción involucrando al diseño mismo de los edificios a través del análisis de constructibilidad.

Recientemente se han hecho investigaciones sobre este tema centradas en hacer más eficientes las labores de construcción demostrando que la implementación de un análisis de constructibilidad al momento de diseñar un edificio, además de simplificar las tareas de construcción, extiende beneficios para labores de desensamble o desconstrucción.

Russell et. al , (1992), citado en Pulsaki, M. et al (s.f.) demuestra que un programa de constructibilidad implementado de manera temprana en un proyecto puede generar un ahorro en tiempo del 10.2% y de dinero en un 7.2%.<sup>101</sup>

Gran parte de las investigaciones más recientes sobre la constructibilidad se han centrado en hacer más eficientes las labores de construcción. La Universidad de Newcastle, Australia, ha desarrollado un modelo conceptual para la constructibilidad. Este modelo trata de comprender el proceso de construcción como un sistema de actividades interrelacionadas con la gente, cada uno de las cuales pueden tener un impacto en el proceso de construcción.

Empleando dicho enfoque, los investigadores han identificado tres dimensiones para el modelo de constructibilidad los cuales son: los participantes, los factores de constructibilidad y las etapas del ciclo de vida de un edificio.

- Los participantes incluyen: clientes, usuarios, inversionistas, los órganos regulatorios, contratistas, diseñadores y otros.
- Los factores de constructibilidad son las actividades culturales y tecnológicas que son tomadas en cuenta para lograr una facilidad en el montaje.

- Las etapas del ciclo de vida de un edificio incluyen: el estudio de factibilidad, diseño, documentación, construcción, y la demolición o desconstrucción.<sup>102</sup>

## **>2.7 Surgimiento del concepto de “Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales” a partir de estrategias de diseño afines**

### **2.7.1 Estrategias de diseño afines**

A la par de esta búsqueda por edificios ligeros, flexibles y modulares, ha surgido en el diseño industrial una serie de filosofías que comparten rasgos en común y buscan la previsión y planeación del desensamble de los productos, mismas que se han venido adecuando al quehacer de la arquitectura para valerse de sus ventajas dentro de la industria de la construcción.

Sus sutiles diferencias radican principalmente en el tipo de gestión que ha de seguir el material producto del desensamble (reciclaje, reutilización etc.) tal y como a continuación se explica.

El diseño para el reciclaje es esencial para elementos constructivos que tienen una vida técnica menor a la vida del edificio mientras que el diseño para la reutilización es apropiada cuando los elementos constructivos tienen una potencial vida técnica y de uso mayor al tiempo para el cual son requeridos en un sitio en especial.

El diseño para el desensamble, como se ha venido señalando, juega un papel importante no solamente por permitir que los componentes y los materiales sean removidos para su reciclaje y/o reutilización, sino que también permite un reacondicionamiento, remodelación, remanufactura, reparación y servicio del producto y los componentes de tal manera que extiende su vida de uso.

La guía “design technical products for ease of recycling” contenida en la norma VDI 2243, es una guía de principios de diseño para el desensamble<sup>103</sup> vigente a la fecha.

<sup>100</sup> CHINI, A. (s.f.) *University of Florida, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction*, extraído el 03 de diciembre del 2010 del sitio web: <http://www.design4deconstruction.org/home.html>

<sup>101</sup> RUSSELL et. al , (1992) citado en PULSAKI, M et al, (s.f.) *Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability*, extraído del US green building council el día 08 de diciembre del 2010 de: [http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204\\_Pulaski\\_PA466.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204_Pulaski_PA466.pdf)

<sup>102</sup> CROWTHER P. ( 2002 ) *Developing an inclusive model For design for deconstruction*. Australia: Queensland University of Technology , *Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy*, CIB Publication 266, Actas del grupo de trabajo del CIB 39 – *Deconstruction Meeting*; 6 April 2001, Wellington, New Zealand. p. 8

Las directrices para el diseño para el reciclaje se clasifican en tres etapas distintas de este proceso, que son:

- reciclaje durante la producción,
- reciclaje durante el uso del producto y
- reciclaje después del uso del producto.

El *reciclaje durante la producción* tiene como objetivo minimizar los residuos y hacer posible un reciclaje del material sin que esto produzca efectos adversos al ambiente.

El *reciclaje durante la utilización del producto* se define como el reacondicionamiento del producto a fin de extender su vida útil. Es parte de la remanufactura o de un adecuado mantenimiento de un subsistema dado. Se divide en: desmantelamiento, limpieza, inspección y clasificación, reacondicionamiento y ensamblaje del producto.

El *reciclaje después del uso del producto* tiene como fin volver a utilizar tanto como sea posible del material del subsistema y minimizar las pérdidas que se puedan generar por el vertido o desecho de sus componentes.<sup>104</sup>

### >2.7.2 Concepto de EPyDAMM

El intento por implementar estas nuevas estrategias ha traído como consecuencia que en la actualidad, sea posible encontrar dentro del contexto de la construcción, términos como: Diseño para la desconstrucción, para el desensamble, (D4D) para la reutilización, para el salvamento (D4S) etc. (sobre todo en otras latitudes), que, si bien, nos hablan de manera muy general de la finalidad de estas "filosofías" (es decir: del reciclaje o reutilización de los materiales o elementos) en la mayoría de los casos no proponen principios claros. A menudo, se encuentran en los textos que tratan sobre el reaprovechamiento de los componentes de una edificación y sus materiales, en donde la meta está expresada en términos de eficiencia a través del reciclaje y la reutilización únicamente, sin embargo también es importante considerar otras líneas de acción que no necesariamente se traducen en reutilización o reciclaje pero que sí pueden representar opciones, incluso aún mejores, para el aprovechamiento maximizado de los materiales, como lo es: el adecuado mantenimiento, la

adaptación y la reubicación de las construcciones (ver capítulo II punto 2.3.2).

Por esta razón se ha decidido utilizar el concepto de: *Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales, (EPyDAMM)*, con el fin de integrar los principios del D4D, el D4S y otros afines<sup>105</sup>. Los principios que conformen esta estrategia, estarán pensados para poderse integrar a los proyectos de edificación desde su gestación con el fin de permitir y facilitar un eventual desensamble de sus componentes y así conseguir un aprovechamiento maximizado de los mismos y de los materiales que los conforman; es decir, alargar al máximo su ciclo de vida (o reintegrarlos a la mayor cantidad de nuevos ciclos de vida), bajo la hipótesis de que esto está directamente relacionado con un menor impacto ambiental. En este sentido, el aprovechamiento maximizado de materiales (AMM) se logrará en la medida en que se cumplan cada uno de sus principios que serán los resultantes de un análisis y extrapolación de las estrategias de diseño afines a la arquitectura y de los aspectos generales para el desensamble y reaprovechamiento de estructuras en acero que se discutirán en el siguiente capítulo.

### >2.8 Reflexiones sobre el presente capítulo

Solamente entendiendo al edificio como parte de un sistema abierto, es decir, que afecta de manera transeccional a los diversos sistemas que forman parte de su entorno y que a su vez cada uno de sus subsistemas que lo conforman se ve influenciado por el entorno a lo largo de su ciclo de vida, e incorporando la interdisciplinariedad como parte de un estudio que acerque a las nuevas filosofías que se basan en el desarrollo sostenible, se podrán entonces plantear nuevas soluciones que mitiguen los problemas de contaminación y extracción de recursos naturales que provoca la industria de la construcción.

A lo largo de este capítulo se ha venido hablando de los diferentes subsistemas de un edificio, del transcurso de tiempo en ellos, es decir, de los ciclos de vida, así como también de los enfoques sustentables aplicables al tema. Se han presentado los avances concretos en la materia, dando respuesta a la

<sup>103</sup> THORMARK, C., (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología. p. 62

<sup>104</sup> DOWIE T. & MATHEW S. (1994), *Guidelines for designing for disassembly and recycling*, U.K.: Manchester Metropolitan University. p. 2

<sup>105</sup> El grupo de estrategias son: el Diseño para la desconstrucción (Design for deconstruction D4D o DfD) el diseño para el desensamblaje (Design for disassembly DfD), diseño para el reciclaje o la reutilización y el diseño para la rescatabilidad (Design for salvageability DfS).

pregunta sobre si no han habido antes este tipo de acercamientos, estudios o construcciones que ya consideren algunos de estos factores como decisivos en el aprovechamiento maximizado de los componentes de edificación a lo largo de sus ciclos de vida y en consecuencia de sus materiales. Todo esto, junto con lo expuesto en el capítulo uno, plantean las bases de la presente investigación y a partir de ello, se ha podido constatar que la práctica de soluciones de fondo, como la aplicación de la constructibilidad como herramienta para el AMM en el campo de la construcción, en México, es nula al menos a nivel científico, toda vez que si se llega a lograr un reaprovechamiento de los materiales de construcción, este se da por mera casualidad, derivado de otras ambiciones como lo es: la conservación de patrimonio histórico o la conservación parcial o total de construcciones que resultan del agrado estético de sus propietarios y todo ello en consecuencia es la resultante de soluciones complejas y poco rentables.

Este fenómeno se da particularmente en nuestro país, pues, de otras regiones, se han obtenido reportes de investigación sobre los factores que influyen en la reutilización, el reciclaje, la adaptabilidad o la desconstrucción (todos al fin tareas que promueven el AMM) de componentes de edificación o sus materiales, mismos que deben de preverse desde la planeación del proyecto de construcción y que han sido planteados a manera de recomendaciones por arquitectos o ingenieros de Estados Unidos o Europa principalmente.

Por otra parte, este fenómeno se da particularmente en la industria de la construcción, toda vez que otras industrias (como la automotriz, o la de fabricación de computadoras u otros artículos) han invertido en investigación para el reaprovechamiento de materiales. Por mencionar un ejemplo vale la pena recordar las más recientes aplicaciones de materiales *inteligentes* en el Desensamble activo, que es un proceso mediante el cual a través de un estímulo externo, fuera de las condiciones normales de operación de un producto, causan que dicho producto se separe de manera autónoma en sus diferentes partes que lo constituyen. Fue desarrollado para facilitar el desmontaje al final del ciclo de vida de productos complejos. El uso de materiales inteligentes en el diseño de elementos de fijación desprendibles es una nueva tecnología de desensamble conocida como: Ecodiseño para el desensamble activo mediante la utilización de materiales inteligentes (ADSM).

## CONTENIDO CAPÍTULO III

# • LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO Y LOS PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN PARA SU DESENSAMBLE

## Conceptos teóricos

- 3.1 **Introducción**
- 3.2 **El acero como material estructural**
- 3.3 **Las estructuras de acero**
  - 3.3.1 **Uniones mecánicas / tornillos**
    - 3.3.1.1 Conexiones atornilladas
    - 3.3.1.2 Barras roscadas y anclas
    - 3.3.1.3 Remaches (elementos en desuso)
  - 3.3.2 **Soldadura**
  - 3.3.3 **Métodos de corte del acero estructural**
- 3.4 **Aspectos generales para el desensamble de estructuras de Acero**
- 3.5 **Extrapolación de las estrategias afines a la arquitectura.**
  - 3.5.1 **Principios para la planeación y el diseño aplicables**

## CAPÍTULO III

# LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO Y PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN PARA EL DESENSAMBLE:

## *conceptos teóricos*

...“ En la biodiversidad, en el sistema ecológico, no va bien nada, si no va bien todo junto”...

*(Araujo, Joaquín)*

### >3.1 Introducción

Los sistemas de construcción en acero han tenido gran aceptación en la industria de la construcción, en cierta medida, gracias a características propias de este material como lo son: su homogeneidad, sus propiedades de resistencia a tensión y compresión, su ductilidad y a la capacidad que tiene de ser soldado.

A través del presente capítulo, posterior a mencionar aspectos relativos al acero como material de construcción, se estudiarán los sistemas estructurales en acero, en especial, sus conexiones, partiendo de las siguientes limitantes:

- Aquellos sistemas que empleen acero A36, de acuerdo con la norma ASTM<sup>106</sup> y las especificaciones AISC<sup>107</sup>, haciendo una excepción en el caso de los tornillos o pernos, que en su mayoría se fabrican en acero de alta resistencia A325 y A490 según la norma ASTM,
- Estructuras para edificios o naves industriales de mediana altura que empleen los tipos más comunes de conexiones (tornillos, remaches, pernos y/o soldadura) y elementos normalizados, es decir, los perfiles más comunes que trabaja la industria siderúrgica en México.

<sup>106</sup> **ASTM** se refiere al organismo de normalización de los Estados Unidos de América. Está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

<sup>107</sup> El **AISC** es el Instituto Americano para la Construcción en Acero. Entre sus principales funciones están la de suministrar especificaciones, códigos, certificación de calidad y estandarización para productos de acero estructural.

- Bajo el marco normativo existente en México para el diseño y construcción de estructuras en Acero, el cual se compone de: las especificaciones del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A.C. (IMCA), las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, y las especificaciones AISC-2005.<sup>108</sup>

Posteriormente, en este mismo capítulo, se tratarán los aspectos teóricos de planeación de proyectos de edificación que ya se adelantan a una solución del problema que ha sido planteado a lo largo de esta tesis, a través de principios o guías que han desarrollado expertos en esta materia a manera de conceptos teóricos.

No se profundizará en especificaciones o ecuaciones que sirvan para el cálculo estructural de las conexiones o elementos pues el propósito de este capítulo es señalar, como ya fue mencionado, los aspectos que afectan en el desmantelamiento o mantenimiento de las estructuras.

### >3.2 El acero como material estructural

No se puede hablar del acero como un solo material, pues existen más de 3,500 diferentes tipos de acero, cada uno con

<sup>108</sup> Las últimas normas de la Comisión Federal de Electricidad, son muy completas y sirven también para evaluar las acciones accidentales de viento y sismo en estructuras de acero, sin embargo debido a que dichas normas son para cálculo y requieren de mucho conocimiento y experiencia para ser aplicadas, no se mencionan en este trabajo.

propiedades químicas, y físicas distintas.<sup>109</sup> El acero estructural se le denomina a la aleación de hierro (cerca de 98%), carbono (alrededor de 1%) y otros minerales como manganeso, fósforo, azufre etc. que le aportan características específicas. Sus clasificaciones más comunes se dan en función de su composición química, siendo estas:

- Aceros Extrasuaves: el contenido de carbono va de 0.1 a 0.2 %
- Aceros suaves: el contenido de carbono va de 0.2 a 0.3 %
- Aceros semisuaves: el contenido de carbono oscila entre 0.3 y el 0.4 %
- Aceros semiduros: el carbono está presente entre 0.4 y 0.5 %
- Aceros duros: la presencia de carbono varía entre 0.5 y 0.6 %
- Aceros extraduros: el contenido de carbono que presentan esta entre el 0.6 y el 0.7 %<sup>110</sup>

El acero estructural A36, un acero suave, es el más común del grupo de los aceros al carbono, tal y como se les denomina a aquellos con una cantidad determinada de carbono y manganeso. En México se rige por la norma NMX B-254 y sus características son:

**Tabla 6 Esfuerzos Fy y Fu de acero A36** (Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible). **Extraído de: la Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas**

Fy			Fu		
MPa	psi	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	psi	kg/cm <sup>2</sup>
250	36,000	2,530	400	58,000	4,080
			a	a	a
			550	80,000	5,620

Existen otros tipos de aceros al carbón, tal y como se verá a continuación en un extracto de la clasificación de aceros estructurales que hace la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés).

**Tabla 7 Extracto de la clasificación ASTM de aceros estructurales.**

Clasificación ASTM	Tipo de acero
A36	Acero estructural
A53	Tubería galvanizada y sin costura, negra y por inmersión en caliente de acero
A242	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación

<sup>109</sup> **WORLDSTEEL ASSOCIATION** (2010) *About steel*. Extraído el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.worldsteel.org/faq/about-steel.html>

<sup>110</sup> **Allstudies.com** (s.f.) *Clasificación del Acero por composición química, propiedades o uso* extraído el 11 de marzo de 2012 de: <http://www.allstudies.com/clasificacion-acero.html>

A500	Tubería estructural de acero al carbón formada en frío, soldada y sin costura
A501	Tubería estructural de acero al carbón, formada en caliente, soldada y sin costura.
A514	Placa de acero de aleación de alta resistencia a la fluencia, templada por inmersión y apropiada para soldar.
A529	Acero al carbono-manganeso, estructural de alta resistencia
A572	Aceros de calidad estructural, de alta resistencia y baja aleación de cromo y vanadio
A588	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación, resistente a la corrosión atmosférica.
A618	Tubería estructural soldada y sin costura de alta resistencia y baja aleación formada en caliente.

111

Los aceros de aleación son aquellos que contienen otro metal que fue añadido intencionalmente con el fin de mejorar ciertas propiedades del metal. La resistencia de los aceros de baja aleación y alta resistencia se debe a que además de contener carbono y manganeso, contienen otros elementos como el cromo, vanadio y níquel y otros. Mediante estas aleaciones, los aceros pueden adquirir propiedades que derivan en la siguiente clasificación:

- Inoxidables. (15% cromo aproximadamente)
- Inoxidables ferríticos
- Inoxidables austeníticos
- Inoxidables martensíticos
- De Baja Aleación Ultrarresistentes
- Galvanizado (Laminas de acero revestidas con Zinc)

Para comprender la importancia de los metales que se adicionan en la fundición y fabricación de acero se presenta la siguiente tabla (Tabla 8):

**Tabla 8 Materiales adicionados en la fundición del acero**

ELEMENTO	PROPÓSITO
Aluminio	Desoxidación, purificación
Boro	Endurecimiento
Carbono	Endurecimiento
Cobalto	Endurecimiento, resistencia
Cobre	Endurecimiento, resistencia, contraherrumbre

<sup>111</sup> **TABOADA VIRGEN, M.** (2001) *Propuesta para implementar una metodología basada en la experiencia personal para apoyar en la supervisión de construcciones con estructura metálica*. (Tesis de Ingeniería civil UNAM) p.34 y **ASTM.** (2001) *Steel standards*. Extraído el 10 de marzo de 2012 de: <http://www.astm.org/Standards/steel-standards.html>

Cromo	Endurecimiento, resistencia, contraherrumbre
Fósforo	No se agrega la acero, pues ya está presente como impureza, sin embargo, una pequeña cantidad mejora la resistencia, sus facilida de maquinado
Manganeso	Endurecimiento y tenacidad
Molibdeno	Endurecimiento contra oxidación
Níquel	Tenacidad, resistencia, ductilidad
Silicio	Resistencia; da calidad magnética
Titanio	Resistencia a altas temperaturas
Tungsteno	Endurecimiento, tenacidad
Vanadio	Endurecimiento, tenacidad

112

### >3.3 Las estructuras de acero

Como es bien sabido, una estructura de acero consiste en una retícula de perfiles laminados o tubulares de acero estructural que se conectan entre sí a través de nudos continuos, articulados o simplemente apoyados, con elementos verticales que transmiten los esfuerzos propios de la edificación y los usuarios a la cimentación. Generalmente las edificaciones habitacionales e industriales ortogonales en acero, se componen de sistemas de piso, empleando acero, concreto o lámina, que transmiten sus cargas a los largueros o vigas secundarias que a su vez transmiten sus esfuerzos a traves y a las columnas y éstas finalmente a la cimentación; para evitar el exceso de desplazamiento lateral se colocan elementos de contraventeo y para evitar el pandeo, elementos de arriostamiento<sup>113</sup>. Este sistema constructivo ha tenido gran aceptación dado que posee ventajas como industrialización, gran capacidad de carga, reducción de tiempo de trabajo en obra entre otras.

Dentro de los sistemas estructurales en acero, existe una gran variedad de tipologías de estructuras que pueden ser clasificadas a partir de:

- Su relación peso/volumen: Ligeras o pesadas
- Su función o servicio: edificios, puentes, naves, almacenes, tiendas, plataformas marinas, torres de transmisión, etc.

<sup>112</sup> TABOADA VIRGEN, M. (2001) *Op cit* p.26

<sup>113</sup> Estos elementos ayudan a evitar cualquier pandeo lateral o deformación lateral excesiva.

- El tipo de conexiones: Atornilladas, remachadas, soldadas, combinadas, etc.<sup>114</sup>

Las conexiones de una estructura están formadas por:

- Las partes afectadas de los miembros conectados (por ejemplo, almas de vigas),
- Los elementos de unión (atiesadores, placas, ángulos, ménsulas), y
- Los conectores (tornillos y soldadura).

A continuación se dará un breve repaso sobre los tipos de conectores empleados en estructuras de acero referidos al tipo de estructuras que se ha mencionado en la introducción del presente capítulo.

#### >3.3.1 Uniones mecánicas / tornillos

Las conexiones trabe-columna constituyen quizá el aspecto más importante de las estructuras de acero y una de las partes más vulnerables. Existen razones para comentar que las tendencias actuales y futuras se encaminan a diseñar conexiones mecánicas en estructuras de acero, en razón de producir menores problemas de conexión del material en su unión y por ende mejor respuesta.

Son conexiones mecánicas aquellas en las que se unen dos o más miembros mediante colocación de tornillos roscados, a través de un agujero previamente practicado en cada una ellas. Las conexiones a base de remaches son conexiones mecánicas, sin embargo no son usadas en la construcción para fines estructurales.

##### >3.3.1.1 Conexiones atornilladas

Tornillos y pernos son elementos formados por un vástago redondo roscado en forma helicoidal y una cabeza en un extremo. Los tornillos más utilizados tienen diámetros que varían de 5/8" a 1 1/4", aunque ocasionalmente se usan tamaños mayores o menores.<sup>115</sup> Existen tornillos y pernos de cabeza redonda, prismática y avellanada. Las tuercas tienen por lo general la misma forma que la cabeza del perno, una altura igual al diámetro del vástago del perno correspondiente y llevan en su centro un agujero circular roscado de forma que

<sup>114</sup> MOTTA CAZARES, G. (1998) *Procedimiento de construcción de estructuras metálicas* (Tesis de Ingeniería civil UNAM) p.54

<sup>115</sup> TAPIA GONZÁLEZ, J.M. (1998) *Construcción de estructuras*(Tesis de Ingeniería civil UNAM) p.28 cap. III

pueda atornillarse sobre el vástago del perno. Las tuercas de forma hexagonal o cuadrada tienen dimensiones normalizadas.

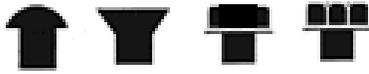


Ilustración 19 tipos de cabezas de tornillos o pernos

Dentro de los tornillos y pernos de cabeza prismática se encuentran los tornillos de cabeza hexagonal y los de cabeza cuadrada.<sup>116</sup>

Entre tornillos y pernos existe una pequeña diferencia que radica en que los primeros, por lo general, se ensamblan en un orificio roscado ciego mientras que los segundos se insertan a través de orificios y se aseguran con una tuerca en el lado opuesto, razón por la cual los tornillos regularmente están completamente roscados mientras que los pernos sólo tienen rosca en una parte de su longitud y dependen de la tuerca para lograr su función de conexión. Esta diferencia será obviada puesto que en la práctica, en muchas ocasiones, se usan ambas denominaciones para designar lo mismo.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas del Reglamento de Construcciones del DF<sup>117</sup> (NTC-EM) los tornillos se clasifican según el tipo de acero empleado para su fabricación, pudiendo ser:

- **H-118** (ASTM A307) Sujetadores de acero al carbono con rosca estándar exterior ( $F_u = 414 \text{ MPa}$ ;  $4\,220 \text{ kg/cm}^2$ ). Los pernos A307 son hechos de acero de baja resistencia (acero con bajo contenido de carbono). A pesar de ser piezas menos costosas, las conexiones hechas a partir de estos elementos pueden resultar más costosas debido a que requerirán muchos más tornillos. Su uso principal es en estructuras livianas, secundarias, miembros de arriostramiento u otras situaciones donde las cargas son pequeñas y estáticas por naturaleza. Estos pernos generalmente vienen con cabeza y tuerca cuadradas y se conocen como pernos comunes

- **H-124** (ASTM A325) Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural [ $F_u = 830 \text{ MPa}$  ( $8\,440 \text{ kg/cm}^2$ ) para diámetros de 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulgada),  $F_u = 725 \text{ MPa}$  ( $7\,380 \text{ kg/cm}^2$ ) para diámetros de 29 y 38 mm (1 1/8 y 1 1/2 pulgadas)].
- **H-123** (ASTM A490) Tornillos de acero aleado tratado térmicamente para conexiones entre elementos de acero estructural ( $F_u = 1\,035 \text{ MPa}$ ,  $10\,550 \text{ kg/cm}^2$ ).

El tipo de conexión determinará si se requiere que los tornillos se instalen apretándolos hasta que haya en ellos una tensión especificada de acuerdo con las NTC-EM. Los métodos mediante los cuales se pueden apretar los pernos o tornillos son: Por vuelta de la tuerca, mediante un indicador directo de tensión, mediante una llave calibrada, o utilizando un tornillo de diseño especial. Para la descripción que se da a continuación de cada uno de los métodos, fue tomado como referencia el texto de Cadena Aldaz (2008).<sup>118</sup>

- **Por vuelta de la tuerca:** Los pernos se aprietan sin holgura y luego se les da un giro de 1/3 o una vuelta completa, dependiendo de la longitud de éstos y de la inclinación de las superficies entre sus cabezas y tuercas. La magnitud de giro puede controlarse fácilmente marcando la posición con marcador o rayador de metal.
- **Mediante un indicador directo de tensión,** es un método que requiere de una roldana o arandela endurecida con protuberancias en forma de pequeños arcos, los cuales a medida que se aplica la carga se aplanan, la apertura es proporcional a la tensión aplicada al perno; se usa una cinta calibrada para medir la apertura, para pernos completamente tensados la separación debe medir 0,015 pulgadas o menos.
- **Mediante una llave calibrada,** se emplea una llave de impacto ajustada para detenerse cuando se alcanza el par necesario para el perno dependiendo de su diámetro y clasificación según la ASTM; los pernos así como sus accesorios deben ser protegidos de la humedad y del polvo en la obra para evitar su corrosión o debe usarse pernos y accesorios galvanizados en caliente

<sup>116</sup> **TAPIA GONZÁLEZ, J.M.** (1998) *Construcción de estructuras* (Tesis de Ingeniería civil UNAM) p.28 cap. III

<sup>117</sup> **SEGOB** (s.f.) *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas*. Extraída el 30 de marzo de 2012 de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/despliegaed2.php?ordenar=&edo=9&idi=&catTipo=20>

<sup>118</sup> **CADENA ALDAZ, L.F. Y HERNÁNDEZ VIVANCO, V., F.** (2008) *diseño y análisis de la conexión emperrada viga-columna en acero estructural para zona sísmica iv*. Tesis de Ingeniería mecánica por la Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador. P. 32 Extraída el 31 de marzo de 2012 de: <http://ess.cajid.com/doc/55735649/T-ESPE-017521>

- Con un tornillo de diseño especial. Existen algunos tipos de pernos de diseño alternativo, uno de los más usados es el perno indicador de carga, que constan de un extremo ranurado extendido más allá de la rosca. Se usan boquillas especiales en las llaves para apretar las tuercas hasta que se rompan los extremos ranurados. Este método de apriete es bastante práctico y conlleva a menores costos de mano de obra. (Ilustración 20)

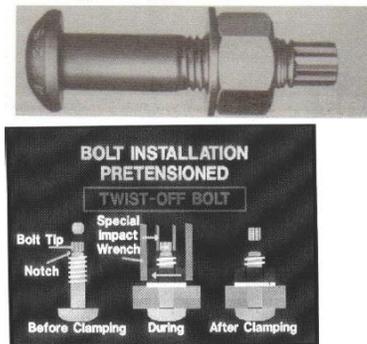


Ilustración 20 Tornillo de diseño especial y especificación para su conexión. Extraído de: CADENA, ALDÁZ (2008)

Para el armado de estructuras a base de conexiones atornilladas, todas las partes de miembros que estén en proceso de colocación de pernos o tornillos requieren mantenerse en contacto rígidamente, por medio de tornillos provisionales. Es importante tomar en cuenta el diámetro, longitud y agarre, solicitaciones: tensión, cortante o esfuerzos combinados, roscas dentro o fuera de los planos de corte, distancias al borde, ruptura por bloque o cortante. Durante la colocación de las partes que se unirán entre sí no debe distorsionarse el metal ni agrandarse los agujeros. Una concordancia pobre entre agujeros es motivo de rechazo.

Algunas de las principales ventajas de emplear tornillos y/o pernos de alta resistencia son:

- Las cuadrillas de hombres necesarios para atornillar son menores que las necesarias para hacer remaches.
- Las conexiones son limpias, rápidas de armar en obra y consecuentemente reducen tiempo de montaje de la estructura de acero.
- Se reducen también riesgos climáticos que afectan el proceso de soldadura,
- la inspección visual es sencilla y el equipo para colocar tornillos de alta resistencia es de fácil operación.

- Las conexiones con tornillos, en comparación con la compuesta por remaches, requiere menor número de tornillos para suministrar la misma resistencia
  - Las juntas atornilladas pueden realizarse por hombres de mucho menor entrenamiento y experiencia que los necesarios para producir conexiones soldadas y remaches de calidad semejante
  - El proceso de atornillado produce niveles de ruido inferiores a otros procesos.
  - Se requiere equipo más barato para realizar conexiones atornilladas
  - No existe riesgo de fuego ni hay peligro proveniente del lanzamiento de los remaches calientes.
  - Las pruebas en las juntas remachadas y en juntas atornilladas bajo las mismas condiciones muestran que las juntas atornilladas tienen una mayor resistencia a la fatiga.
- 119
- Las conexiones atornilladas permiten un desensamble total de cada una de sus partes.



Ilustración 21 conexión a base de pernos

A cambio de lo anterior se requiere una fabricación precisa en taller y de buena calidad, debido a que se especifican holguras pequeñas. Ameritan mayor precisión geométrica.

Cuando las conexiones se efectúan empleando un único pasador, (en el caso específico de tornillos o remaches, las conexiones no deben tener menos de dos, salvo algunas excepciones<sup>120</sup>, según la especificación 5.1.1 de la NTC) pueden proporcionar conexiones tan libres de momento como se es posible en práctica. Para ello, el diámetro del hueco de las

<sup>119</sup> MOTTA CAZARES, G. (1998) Procedimiento de construcción de estructuras metálicas (Tesis de Ingeniería civil UNAM) p.87

<sup>120</sup> Se exceptúan los casos de conexiones de diagonales de celosías de secciones armadas, tirantes para soporte lateral de largueros, apoyos de largueros, y otros casos en que las fuerzas que deben transmitirse no se calculan o son de magnitud muy pequeña

partes conectadas siempre deberá de ser mayor al diámetro del perno pero no exceder a este en 1.0 mm.<sup>121</sup> En este caso, la función del perno es la misma que la del vástago de un conector de tipo tornillo o remache, pero debido a que solo hay un pasador en la conexión, las fuerzas que actúan sobre este son mucho mayores que las que se encuentran en los pernos, tornillos o remaches de conexiones que tienes más de uno de estos elementos, razón por la cual, el diámetro de los pasadores es mucho mayor. En estos casos, el hueco se debe hacer equidistante entre los bordes en la dirección perpendicular a la fuerza para que esta pase por el eje de gravedad del miembro y evitar así la excentricidad evitando esfuerzos de flexión.



Ilustración 22 Ejemplo de unión a base de un pasador. (aeropuerto internacional de Barajas, Madrid)

### >3.3.1.2 Barras roscadas y anclas.

Los contraflambeos son elementos que pueden tener conexiones roscadas o soldadas. Se usan como arriostramiento; en algunos casos, son pre tensionados para prevenir su laxitud cuando las cargas externas son retiradas. Su reutilización es poco usual ya que sus dimensiones varían incluso dentro de un mismo proyecto.

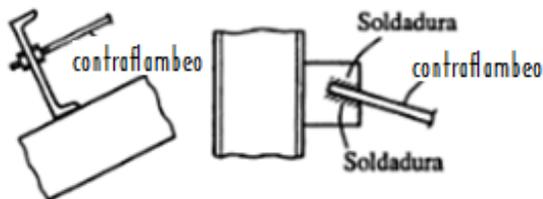


Ilustración 23 contraflambeo roscado y soldado

Las anclas, son el tipo de conexión más común empleado para fijar los elementos que transmitirán los esfuerzos a una estructura de concreto y finalmente a la cimentación. Por lo regular, las anclas se aseguran mediante una placa de acero y tuercas a una base de concreto.

Este tipo de conexión requiere de una demolición para su retiro, por ello resulta conveniente minimizarlas en la medida de lo posible sin que ello traiga consecuencias en la estabilidad de la estructura.

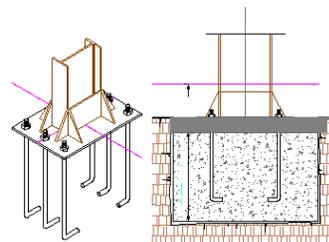


Ilustración 24 Ejemplo de conexión con anclas

### > 3.3.1.3 Remaches (elementos en desuso)

Los remaches son mecanismos de unión que en la actualidad no son empleados en la industria de la construcción dado que entre otras cuestiones, su resistencia es inferior a la que se puede conseguir con pernos o tornillos, y no permiten un desensamble. Sin embargo aún es posible encontrarlos en algunas construcciones dado que en el siglo XIX y hasta mediados del XX fueron el tipo de unión más común para estructuras de hierro y acero. Las propiedades de este tipo de conexiones en edificaciones antiguas pueden ser obtenidas mediante ensayos de laboratorio o bien, si se conoce la época en que se construyó dicha estructura, recurriendo a literatura técnica de entonces.

De acuerdo a la NTC-EM antes citada, los remaches se catalogan en concordancia con la norma ASTM 502 la cual da los siguientes tres grados:

- Grado 1 Remaches de acero al carbón para uso general;
- Grado 2 Remaches de acero al carbono-manganeso, para uso con aceros; y
- Grado 3 Semejante al Grado 2, pero con resistencia a la corrosión mejorada.

Existen, al igual que con los pernos y los tornillos cuatro tipos de remaches clasificados según la geometría de su cabeza:

- a) Redondos
- b) Planos
- c) Avellanados
- d) En gota

<sup>121</sup> TAKEUCHI, C. P. (2006) *Conexiones en estructuras metálicas*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. P.74

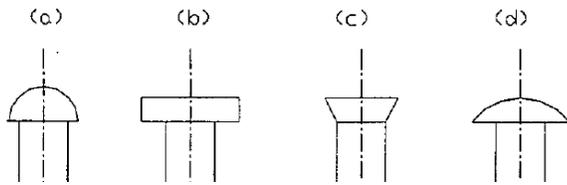


Ilustración 25 Tipos de remaches

Las dimensiones de los remaches utilizados son de 3/4" y 7/8" de diámetro aunque se pueden tener trabajos estandarizados desde 1/2" hasta 1 1/2" con incrementos de 1/8".

Tanto en los talleres como en la obra, los remaches se calientan mediante un horno, fragua de carbón o de gas, o bien con un calentador eléctrico hasta una temperatura de 1600 °F aproximadamente para facilitar la ejecución del remachado. Se debe evitar que los remaches alcancen una temperatura más elevada ya que se pueden modificar de manera irreversible sus propiedades mecánicas y se dice entonces que el remache se ha quemado. La colocación de los remaches es un proceso que puede darse en caliente o en frío:

- Proceso de remachado en caliente:

Se calienta el remache a una temperatura aproximada de 1000°F y se introduce el vástago en un agujero circular practicado en las pizas que deben empalmarse hasta que la cabeza del remache se ha apoyado sobre ellas. Posteriormente la parte del vástago que rebasa el espesor total de la junta se aplasta para formarle una segunda cabeza al remache. Durante el aplastamiento del vástago este llena el hueco que resulta de la diferencia de los diámetros del vástago y del agujero practicado en las piezas.

Una vez colocado el remache tiende a enfriarse y se contrae tanto longitudinalmente como transversalmente apretando así firmemente las partes conectadas.

- Proceso de remachado en frío

Es similar al proceso de remachado en caliente con la salvedad de que los remaches se instalan a temperatura ambiente y requieren de grandes presiones para formar la cabeza y completar el proceso. El proceso de instalación en frío es para remaches de dimensiones pequeñas, del orden de 3/4" o menores. <sup>122</sup>

En la actualidad los remaches deben colocarse por medio de remachadoras de compresión u operadas manualmente, neumáticas, hidráulicas o eléctricas. Una vez colocados, deben llenar totalmente el agujero y quedar apretados, con sus cabezas en contacto completo con la superficie.

Este tipo de uniones, a pesar de ser el tercer grupo de conexiones mecánicas y a base de pasadores, no se prestan a un desensamble tan fácil como los tornillos o pernos, puesto que a pesar de ser piezas similares a estos, con vástago cilíndrico pero sin rosca, la geometría de su cabeza, por ambos extremos, imposibilita el ser sujeta con algún tipo de herramienta para su desensamble y en consecuencia, retirar estos elementos requiere que sus dos componentes, cabeza y vástago, sean separados, por medio de un cincel, golpeándolo contra el borde de la cabeza del remache hasta cortarla del vástago para posteriormente con la punta del cincel golpear el centro del vástago para que este salga. Este proceso como se puede ver, es poco práctico y en ocasiones, resultará mejor cortar la pieza que se desee retirar en vez de remover remache por remache.

Para el armado de estructuras a base de conexiones remachadas, de acuerdo con la NTC-EM antes citada, todas las partes de miembros que estén en proceso de colocación de remaches deben de mantenerse en contacto entre sí rígidamente, por medio de tornillos provisionales. Durante la colocación de las partes que se unirán entre sí no debe distorsionarse el metal ni deben agrandarse los agujeros. De tal forma que cuando se pretenda llevar a cabo un desmantelamiento de una estructura unida a base de remaches es importante aclararse cuantos remaches viejos deben dejarse colocados para que no colapse la estructura antes de que sus elementos sean removidos y por otra parte si el proceso de desensamble y retiro de remaches deforma los agujeros de las partes afectadas de los elementos de unión en cuestión, estos difícilmente podrán ser reutilizados.



Ilustración 26 Ejemplo de conexión antigua y en desuso a base de remaches

<sup>122</sup> MOTTA CAZARES, G. (1998) *Op cit* p.82

### >3.3.2 Soldadura

La soldadura es actualmente el método más común para la unión de elementos en estructuras de acero.

La soldadura se define como un proceso que permite unir elementos, en este caso de acero, mediante la fusión, con o sin el empleo de materiales de aporte, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que se han de soldar, logrando dar continuidad a los elementos unidos.

En el diseño estructural han de tomarse en cuenta los siguientes puntos específicos de las conexiones soldadas:

- Proceso de soldadura
- Tamaño, forma y grueso de las piezas
- Tipo de sollicitación
- Preparaciones -biseles.
- Tipo de junta: a tope, traslapada, en té, de esquina y de borde
- Tipo de soldadura: filete, penetración – completa o parcial, de ranura y de tapón-
- Agujeros de acceso para soldar y posición en que se deposita la soldadura.

Las ventajas de este tipo de uniones son:

- Se simplifican ciertos aspectos de la construcción y almacenaje.
- Se disminuye el peligro de corrosión debido a superficies lisas.
- Se disminuye el peso del acero debido a la eliminación de un gran porcentaje de placas de unión y empalme empleadas en las estructuras remachadas o apernadas.
- Se logra una mayor rigidez de la estructura.
- Se posibilita la unión de miembros con diversas características (ej. Una columna de tubo de acero difícilmente sería posible conectarla a otros miembros de acero con remaches o pernos.)

Los efectos de *los tipos de soldadura*<sup>123</sup> resultan determinantes para la utilidad del elemento soldado, sin embargo una vez que

<sup>123</sup> Los tipos de soldadura en acero se pueden clasificar de acuerdo a si hay o no material de aporte (de aleación o autógena), para los casos en los que hay material de aporte se puede clasificar en heterogénea u homogénea dependiendo si este material es diferente o igual al de los materiales a unir (los materiales de aportación y fundentes para

este ha sido unido a otro mediante este proceso, resulta indiferente el tipo de soldadura que se ha empleado cuando se trata de labores de desensamble, pues toda soldadura, tal y como se ha comentado anteriormente, consiste en dar continuidad a los elementos, ocasionando que para su desmantelamiento se requiera de cortes en ellos. Los procesos más comunes para el corte del acero se clasifican de acuerdo con la herramienta o equipo empleado para hacerlos, y estos son: con cizalla, sierra o soplete, sin embargo para el caso del acero estructural prácticamente se emplea el soplete y sólo en algunos casos mediante discos de corte.

### >3.3.3 Métodos de corte del acero estructural

Los procesos que se discutirán a continuación serán: Oxicorte, arco plasma y medios mecánicos mediante el uso de discos de óxido de aluminio, también denominados discos abrasivos de corte.

Los cortes con soplete requieren un acabado correcto, libre de rebabas. Se admiten muescas o depresiones ocasionales de no más de 5 mm de profundidad, pero todas las que tengan profundidades mayores deben eliminarse con esmeril o repararse con soldadura. Los cortes en ángulo deben hacerse con el mayor radio posible, nunca menor de 25 mm, para proporcionar una transición continua y suave. Si se requiere un contorno específico, se debe indicar en los planos de fabricación.

El proceso denominado oxicorte consiste en una combustión del acero, la cual se logra por medio de un soplete alimentado por un gas combustible y oxígeno. En este proceso, la presencia de aleantes en el acero es crítica, ya que merman la capacidad del acero a ser quemado. En la actualidad existen muchos modelos de máquinas de oxicorte incluyendo aquellas que son portátiles. El equipo básico para cortar acero bajo este método es similar al que se utiliza para la soldadura, es decir suministro de gas, mangueras, reguladores y un soplete; todos, a excepción del soplete pueden, inclusive, ser los mismos que para la soldadura, sin embargo como el corte consume más oxígeno que el proceso de soldadura, es preferible, cuando se van a cortar piezas gruesas o se va a trabajar en forma

soldadura son de cinco tipos de acuerdo a la NTC-EM que los cita en la página 13) y finalmente puede ser también clasificada en función del diseño de la junta, dentro de esta clasificación están las soldaduras de: cordón, ondeadas, de filete, de tapón y de ranura.

continua, una manguera de mayor diámetro a fin de tener un suministro adecuado de gas y reguladores capaces de producir presiones mucho más altas.

Por otra parte, el corte por arco plasma o PAC por sus siglas en inglés (*plasma arc cutting*) es un proceso mediante el cual se separa metal empleando un arco eléctrico constreñido que eleva la temperatura del gas empleado hasta convertirlo en plasma (estado de la materia en el que los electrones se disocian del átomo y en consecuencia el gas se convierte en un conductor con alta densidad de energía), el cual corta y a la vez, el mismo chorro de plasma que atraviesa todo el elemento, elimina el material derretido.

Al igual que sucede con el proceso de oxicorte, existen máquinas para el corte con arco plasma portátiles así como maquinaria fija.

Algunas ventajas del proceso de corte por arco plasma en relación con otros tipos de corte son:

- La cantidad de fuerza requerida para sostener la pieza de trabajo en su lugar y desplazar el soplete (o viceversa) es muy inferior, en comparación con el proceso de corte mecánico, ya que no hace contacto.
- Permite mayores velocidades de corte.
- Puede iniciarse inmediatamente, sin necesidad de precalentamiento, lo cual resulta especialmente ventajoso en aplicaciones que implican interrupción del corte, como en el corte de mallas.
- Los cortes mediante este sistema presentan menos escoria, menos deformación y una menor zona afectada por el calor.

Sus desventajas principales son:

- Al igual que ocurre con el oxicorte, y a diferencia del proceso de corte mecánico, presenta un mayor riesgo de incendio, choque eléctrico, luz intensa, humo y gases.
- El equipo de PAC tiende a ser el más costoso, además de requerir mayor energía eléctrica.<sup>124</sup>

Cuando se procede a desmontar elementos de una estructura cortándolos se debe especificar con claridad la dimensión que se dejará sin cortar hasta que la pieza esté lista para quitarla de

su sitio; de preferencia esto debe marcarse sobre la misma pieza para asegurarse de que podrá soportar su propio peso y el del personal, equipo o materiales que se coloquen sobre ella hasta que se haga el corte final. Así mismo deberá de disponerse algún tipo de protección contra el fuego en los niveles inferiores, con extinguidores o mangueras de agua adecuadas, y deberá colocarse por anticipado una cubierta protectora sobre los materiales inflamables que puedan quemarse en los niveles inferiores.

### **>3.4 Aspectos generales para el desensamble de estructuras de Acero**

Definir una estrategia adecuada de desensamble de estructuras de acero implica en principio conocer al menos de manera general el proceso de ensamble o montaje estructural.

El montaje estructural consiste en el correcto acomodo de elementos estructurales que han sido prefabricados a partir de placas, ángulos y otros perfiles laminados o tubulares, mediante la utilización del equipo apropiado, que ofrezca la seguridad de no someter los elementos metálicos a esfuerzos excesivos, y que a menudo incluye gatos, grúas especiales, malacates etc. Este proceso comienza una vez terminada la cimentación, momento en el que se levantan las columnas y se atornillan mediante las placas base. Una vez instaladas las columnas, se izan las vigas y trabes para ajustarlas a estas y se practican conexiones provisionales mediante las cuales se pueda asegurar la estructura. Posteriormente se lleva a cabo la alineación, es decir, se plomean las columnas y se nivelan las trabes para finalmente hacer las conexiones permanentes entre los elementos por medio de remaches, tornillos o soldadura. El proceso se realiza en secciones de tal suerte que cuando se completa un tramo se comienza el siguiente, repitiendo la secuencia del primero. Es conveniente contraventear lateralmente las columnas durante el montaje hasta que se complete la estructura. Así mismo, es necesario tomar en cuenta todas las cargas a la que pueda quedar sometida la estructura durante el montaje, incluido el equipo de instalación y su operación.

A partir de esto podemos decir que el desmontaje de una estructura consiste en el proceso inverso al montaje, esto es retirar las diferentes partes de acero que han sido fabricadas y previamente colocadas en sus posiciones para formar una estructura de acero. Incluye los pasos previos a su retiro y las

<sup>124</sup> **Construirnoa.com** (s.f.) *Procesos de Corte*. Extraído el 24 de marzo del 2012 de: <http://www.construirnoa.com.ar/>

operaciones subsecuentes como lo es el desmantelamiento posterior del equipo necesario para efectuar todas las operaciones implícitas en el desensamble.

El alcance de los trabajos previos en conjunto puede clasificarse en los siguientes grupos:

- Comunicación a los organismos que puedan resultar afectados: Se ha de comunicar la intención de efectuar los trabajos a los organismos públicos o privados afectados. Es el caso de las compañías de servicios, los servicios municipales, etc.
- Apuntalamiento previo: Durante el proceso de desconstrucción, el estado tensional a que están sometidos los elementos constructivos del edificio experimenta cambios significativos con mayor rapidez que en un proceso de construcción. Los cambios más comunes tienen origen en:
  - La acumulación de sobrecargas en determinadas partes de los forjados
  - La entrada en carga de elementos que no forman parte de la estructura del edificio.
  - El desmontaje de elementos que, en apariencia, no formaban parte de la estructura pero que en realidad transmitían cargas.
- Colocación de andamios: Los andamios son a la vez un medio que permite trabajar a diversas alturas y un soporte para otros medios de protección colectiva. Los andamios se han de colocar exentos de la edificación, aunque se han de unir en los puntos necesarios para asegurar su trabadura.

Las acciones deben de estructurarse según, cuál sea el caso, siguiendo un plan de gestión de residuos. En consecuencia, la desconstrucción de una estructura de acero no se puede explicar mediante un único modelo de ejecución, si no que depende de los objetivos previstos y el contexto en el que se ejecuta. No obstante, a diferencia de la demolición tradicional, la desconstrucción, como ya se comentó, consiste en un proceso de desmontaje gradual y selectivo en el que los métodos y técnicas a emplear deben de ser coordinados y se deben complementar entre sí.

Es importante señalar que los principales objetivos de la desconstrucción radican en:

- Lograr un alto valor de aprovechamiento de los materiales que constituyen la construcción objeto de demolición
- Alcanzar la viabilidad económica de todo el proceso.<sup>125</sup>

### **>3.5 Extrapolación de las estrategias afines a la arquitectura.**

Dowie (1994), investigador de la Universidad Metropolitana de Manchester, desarrolló una serie de guías que son clasificadas de acuerdo a tres áreas del diseño de producto: materiales, sujetadores/conexiones y referentes a la estructura del producto.<sup>126</sup> Cabe señalar que algunos puntos sugeridos por Dowie incluidos en la Tabla 10, no son aplicables a la construcción en función de que fueron desarrollados pensando en el desarrollo de productos y mobiliario.

Por otra parte Bjorn Berge, es quizá de los primeros arquitectos que expone de manera explícita en su libro titulado *Ecology of building materials*, la relación que existe entre los conceptos de: "alta capacidad de adaptación", que posteriormente es retomado por Durmisevic (ella lo llama alta capacidad de transformación) y el bajo impacto ambiental, asegurando que un edificio diseñado para un mantenimiento, desensamblaje y re-uso de sus componentes de manera fácil es la mejor vía para el desarrollo de la construcción en términos sustentables. Todo esto lo define en el marco de un nuevo concepto denominado el Diseño para la "rescatabilidad" (*Design for salvageability*)<sup>127</sup> para el cual da tres principios básicos (incluidos en el análisis que se lleva a cabo en la Tabla 10).

#### **>3.5.1 Principios para la planeación y el diseño aplicables**

Como reiteradamente ya se ha venido señalando, son diversos autores los que tocan, de alguna manera u otra, temas referentes a los principios de diseño para el reciclaje, desensamble u otros.

<sup>125</sup> GONZÁLEZ I BARROSO J. *et al* (2000) Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Instituto de la tecnología de la construcción de Cataluña. España. P. 24

<sup>126</sup> DOWIE T. & Mathew S. (1994), *Op cit.* p. 3 y 4

<sup>127</sup> BERGE, B., (2000) *Ecology of Building Materials*. U.K.: Oxford Architectural Press.

Cada autor señala, y le da su propia escala de importancia a los principios que menciona. Para comprender mejor todos estos principios, se realizó una tabla (Tabla 10) en la que se clasificaron las cuestiones que deben ser tomadas en cuenta para lograr el aprovechamiento maximizado de materiales, ya sea vía: *la adecuada modulación, el apropiado mantenimiento, la reutilización o el reciclaje*. En total son sesenta recomendaciones dadas por 13 expertos, muchas de las cuales se repiten.

Con la finalidad de hacer más entendible toda esta información, se agruparon estos aspectos en grupos partiendo de un principio o una meta a conseguir, resultando así 25 grupos que a su vez se clasificaron en las siguientes categorías:

- Los materiales y componentes,
- La estructura, (sujetadores, conexiones y refuerzos), y
- La planeación de construcción y de desconstrucción. (ver tabla 9)

De esta manera tenemos por ejemplo, en el grupo etiquetado como "Número y complejidad de las partes y herramienta requerida", a su vez localizado en la categoría de "estructura (sujetadores, conexiones y refuerzos)", las siguientes recomendaciones:

- Minimizar el número de sujetadores
- Simplificar y estandarizar las conexiones
- Minimizar el número de herramienta requerida para remover los sujetadores
- Los sujetadores deben de ser fácilmente removibles
- Los sujetadores de presión deben de poder desensamblarse usando herramientas comunes
- Utilizar las tecnologías de ensamblado que sean compatibles con las prácticas estándar de construcción
- Cuidar la geometría de los bordes del componente

Cada una de estas recomendaciones se agrupó dentro de un mismo conjunto debido a que todas hablan sobre el número y complejidad de las partes y de la herramienta requerida para su desensamble. Esto se verá reflejado en la ilustración 28 en donde se relacionan los principios para el aprovechamiento maximizado de materiales con el conjunto de etiquetas enlistado en la tabla 9. Observamos en la ilustración 28 cómo la

etiqueta "Número y complejidad de las partes y herramienta requerida" dio lugar a tres principios de evaluación que son:

- Cantidad de herramienta requerida para el desensamble en obra y fuera de obra
- Tipo de herramienta y equipo requerido para el desensamble en obra y fuera de obra
- Cantidad de pasos para el desensamble en obra y fuera de obra.

Tabla 9 Clasificación general de principios para el AMM

CATEGORÍA	CLAVE	ITEM
MATERIALES Y COMPONENTES	M_CM	Compatibilidad: material/material o material/componente
	M_DC	Dimensiones de los componentes
	M_MC	Componentes modulares
	M_MR	Tipo de materiales y componentes (reciclados y reciclables)
	M_NM	Número de materiales
	M_NP	Número de partes
ESTRUCTURA (SUJETADORES, CONEXIONES Y REFUERZOS)	S_CS	Compatibilidad: sujetador/componente
	S_IP	Inseparabilidad de partes
	S_MF	Materiales y sujeciones frágiles
	S_NP	Número y complejidad de partes y herramienta requerida
	S_RP	Refuerzos en partes plásticas
	S_TC	Tipo de conexiones
PLANEACIÓN (CONSTRUCCIÓN Y DECONSTRUCCIÓN)	P_CV	Coordinación de ciclo de vida (uso/técnico)
	P_ED	Estabilidad durante la deconstrucción
	P_FA	Facilidad de acceso
	P_II	Instrucciones de instalación
	P_IP	Identificación de partes y materiales
	P_LD	Logística de deconstrucción
	P_PD	Proyecto de deconstrucción
	P_PP	Prefabricación y preensamblaje
	P_PR	Piezas de repuesto
	P_SA	Diseñar sistema abierto
	P_SC	Separación: sistemas- componentes. y/o de capas
	P_SF	Separación de funciones
	P_SL	Seguridad de trabajadores

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES**

Tabla 10 Principios para la planeación y el diseño propuestos por expertos

			referencia													
										citados en Crowther 2002						
			Design4deconstruction website (2010)	Sigrid Nordby et al. (2008)	Durmisevic (2006)	Paola Sassi (2002)	Thormark Catarina (2001)	Berge Bjorn (2000)	Tracy Dowie & Matthew Simon (1994)	Chen (1994)	Illingworth (1993)	Miller (1990)	Adams (1989)	Hon (1988)	CIRIA (1983)	
<b>M: MATERIALES Y COMPONENTES</b>																
<b>M_CM</b>	(4)	Asegurarse de usar tinta compatible con las áreas de impresión en partes plásticas Eliminar el etiquetado que sea incompatible con las partes plásticas Eliminar adhesivos, a menos que sea compatible con ambas partes a unir														
<b>M_DC</b>	(4)	Diseñar pensando en componentes de medida y peso maniobrables.														
<b>M_DC/MC</b>	(1)	Modular el diseño en base a las dimensiones de los materiales														
<b>M_MC</b>	(14)	Uso de componentes estandarizados														
<b>M_MC/P_PP</b>	(7)	Diseñar basándose en la prefabricación, preensamblaje y la modulación														
<b>M_MC/P_SF</b>	(4)	Hacer diseños tan modulares como sea posible y con funciones separadas														
<b>M_MR</b>	(6)	Utilizar materiales que requieran una mínima reelaboración														
		Elegir materiales reciclados														
		Elegir materiales reciclables														
<b>M_NM</b>	(8)	Minimizar el número de diferentes tipos de material														
		Uso de componentes de un solo material														
<b>M_NP</b>	(4)	Minimizar el número de partes														
<b>S: ESTRUCTURA (SUJETADORES, CONEXIONES Y REFUERZOS)</b>																
<b>S_CS</b>	(6)	Tratar de usar sujetadores que sean compatibles con las partes a unir														
		Poner atención extra a las consecuencias de las juntas y los sujetadores si la meta de diseño es la reutilización														
<b>S_IP</b>	(2)	Hacer partes inseparables de un mismo material o de un material para el cual no se pueda llevar a cabo un proceso de reciclaje.														
<b>S_MF</b>	(4)	Evitar el uso de materiales frágiles y de corta duración.														
		Diseñar uniones y conexiones para resistir un uso reiterado														
<b>S_NP</b>	(15)	Minimizar el número de sujetadores														
		Simplificar y estandarizar las conexiones														
		Minimizar el número de herramienta requerida para remover los sujetadores														
		Los sujetadores deben de ser fácilmente removibles														



P_SF	(5)	Separación de funciones									
P_SL	(6)	Considerar la seguridad de los trabajadores de obra									
		Evitar sustancias tóxicas									

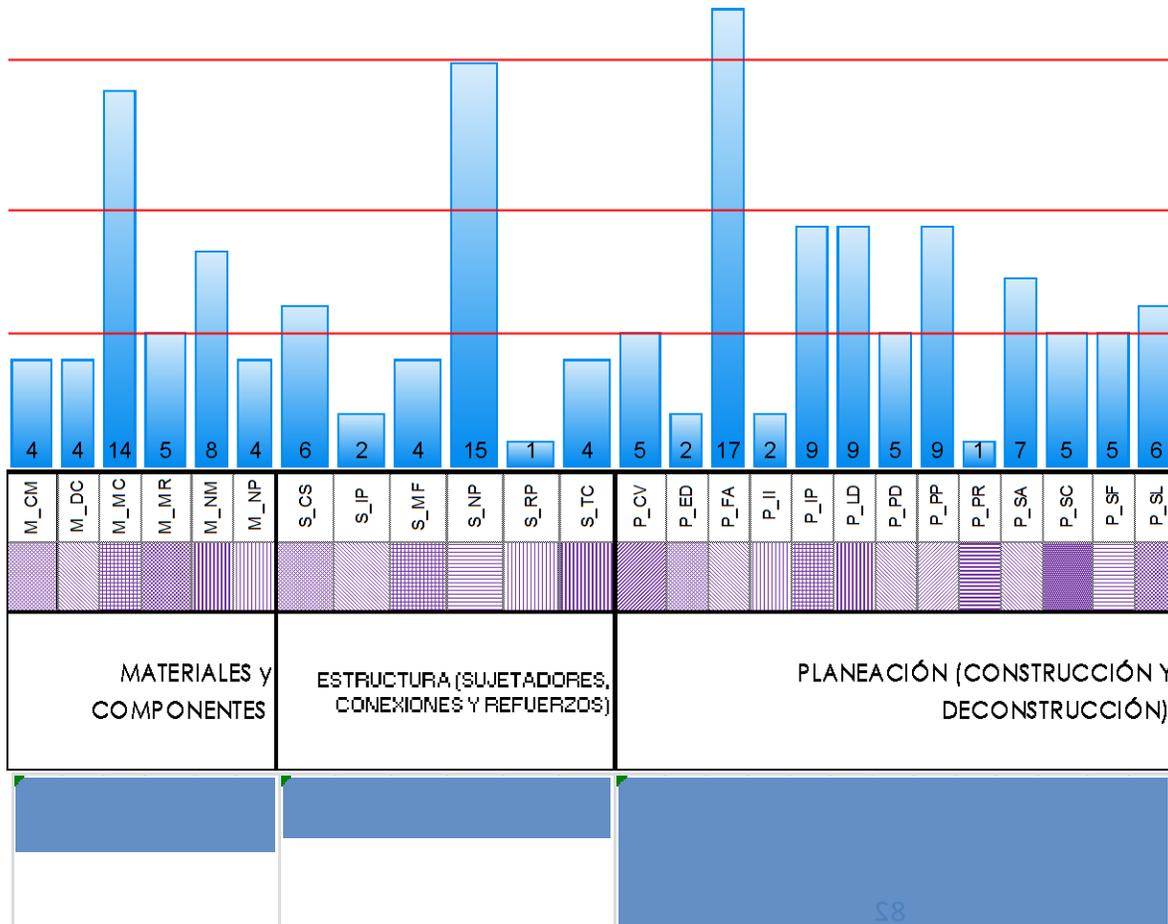


Ilustración 27 Relación comparativa entre los principios más comúnmente citados

A partir de esta recopilación y catalogación, en la Ilustración 26 se expone una comparativa de la mención que tienen los principios de la Tabla 9.

Esta investigación documental es parte central de los cimientos de la propuesta, pues una vez que se hubieron estudiado los conceptos y puntos que los diversos expertos proponen para los asuntos relacionados con el aprovechamiento maximizado de los materiales, se comenzaron a bosquejar esquemas en dónde se concentraran de manera resumida todos estos puntos. (ver ANEXO 11)

El esquema resultante, como podrá verse en el siguiente capítulo, es el resultado de estudiar cada uno de esos principios y sus correlaciones.

**AMM**

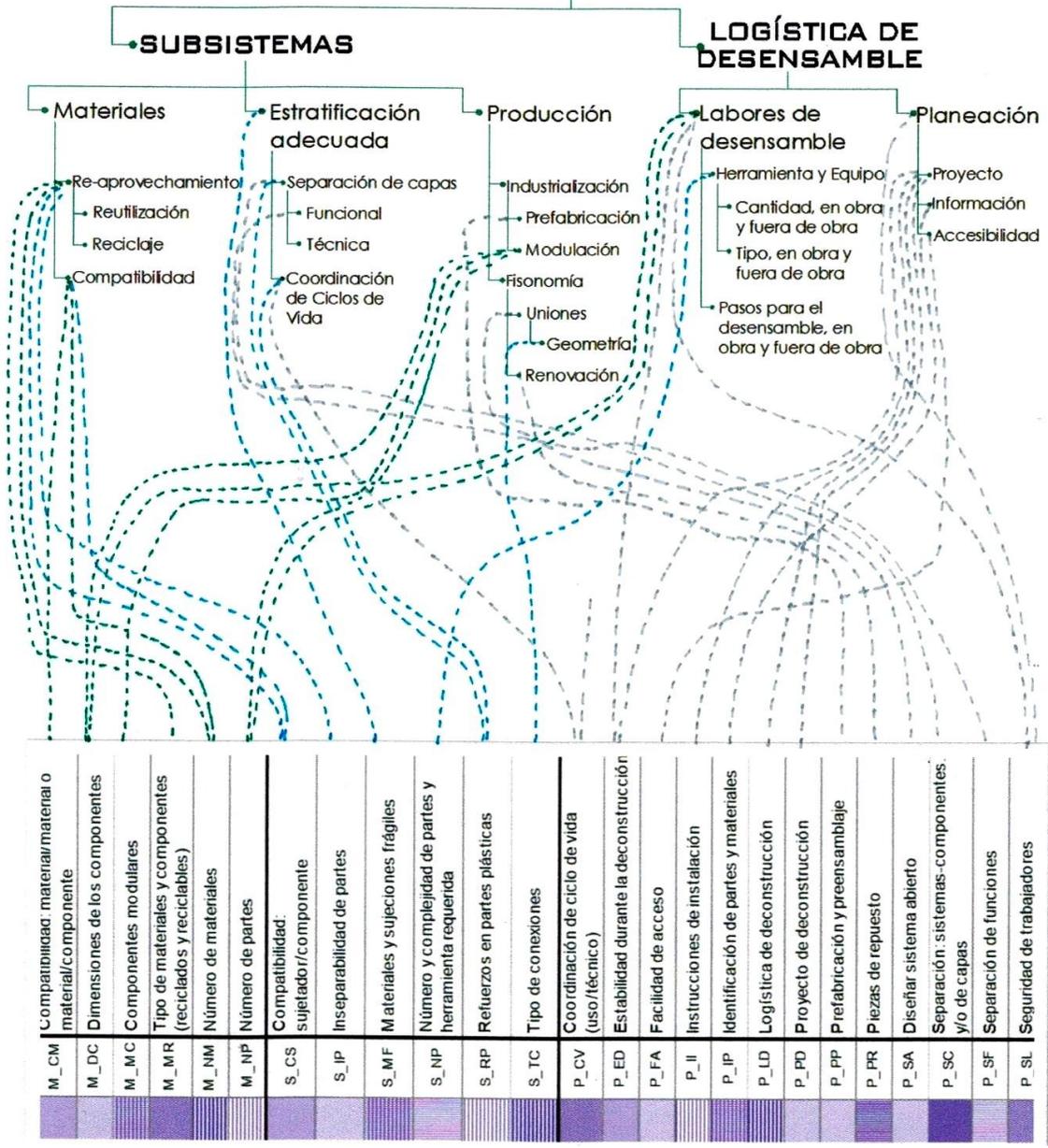


Ilustración 28 Relaciones de los principios asociados al esquema propuesto

## CONTENIDO CAPITULO IV

# • PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN Y DISEÑO para el AMM Asociados a las estructuras de Acero

### 4.1 Introducción

### 4.2 Principios para su consecución

#### 4.2.1 Subsistemas

- 4.2.1.1 Materiales
  - Re-aprovechamiento
  - Compatibilidad
- 4.2.1.2 Estratificación adecuada
  - Separación de capas
  - Coordinación de ciclos de vida
- 4.2.1.3 Producción
  - Industrialización
  - Prefabricación
  - Modulación
  - Fisonomía

#### 4.2.2 Logística de desensamble

- 4.2.2.1 Labores de desensamble
  - Cantidad de Herramienta y equipo
  - Tipo de Herramienta y equipo
  - Pasos para el desensamble
- 4.2.2.2 Planeación
  - Proyecto
  - Información
  - Accesibilidad
  - Claridad
  - Seguridad
  - Holgura

### 4.3 Sincronización y planeación de las tareas para la EPyDAMM

### 4.4 Notas finales

### 4.5 Conclusiones

CAPÍTULO IV

**PROPUESTA DE PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN Y DISEÑO para el AMM,**

Asociados a las estructuras de acero

...“ La forma más fácil de deshacerse de un muro, una habitación o un edificio entero es demoliéndolo. Pero hecho pedazos, todo revuelto, lo único que se obtiene es una montaña de escombros. Si se separa, lo que se obtiene son materiales de construcción reutilizables”...

(Leonard Annie, 2010)

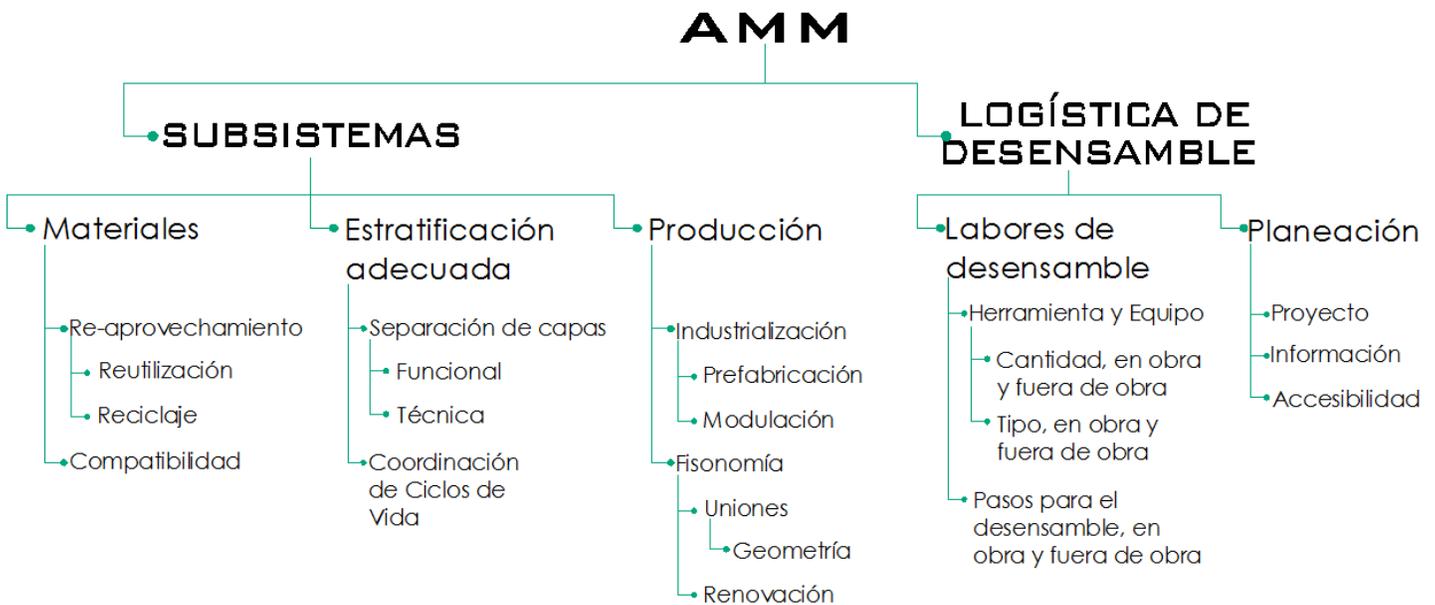


Ilustración 29 Sistema holístico de principios para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales

## >4.1 Introducción

A través del presente capítulo se definirán las guías para evaluar de forma comparativa, el aprovechamiento del acero en las estructuras comunes, mediante la metodología referida en la presentación y que se basa en la investigación documental de tipo informativo (expositivo). Es importante señalar que si bien algunos principios se podrán tratar de manera general para todas las estructuras de acero a las que aquí haremos referencia, habrá otros para los que establecer parámetros será necesario un previo análisis particular de la edificación en cuestión; el objetivo de este capítulo será, pues, dar un sustento teórico para relacionar los principios para el AMM, con valores numéricos, dentro del rango [0,1] (0 para el caso más negativo y uno para el más positivo) en especial para los casos generales, para ello será menester referir cada principio de la EPyDiPAMM enfocado exclusivamente a las estructuras de acero.

## >4.2 Principios para su consecución

A continuación se describen cada uno de los conceptos que se ha considerado clave para lograr el AMM, con especial énfasis en las estructuras de acero. Estos conceptos se han agrupado en áreas y sub-grupos que dan lugar a un sistema holístico conformado por cinco niveles de evaluación. (Ilustración 29) Se ha tomado como base los estudios de Sassi y Durmisevic (ver ANEXOS 12 y 13) entre otros ya antes mencionados. Si bien estos principios han sido planteados desde la óptica de estructuras de acero, no debe desdeñarse la posibilidad de aplicarlos a otro tipo de estructuras e inclusive a otras capas edificatorias, como se expondrá en un par de ejemplos a lo largo de este capítulo.

Las dos principales áreas que engloban el conjunto de principios de planeación y diseño de sistemas edificatorios para lograr un AMM son logística de desensamble y subsistemas:

- **Subsistemas:** se refiere a los aspectos de los subsistemas que están de manera física en la estructura. Abarca las características generales de los diferentes *niveles de descomposición técnica*<sup>128</sup> de la estructura (componentes y materiales) así como la organización de los mismos dentro del sistema (recordemos que la estructura puede ser considerada un sistema dentro de uno más grande que es el edificio construido). Responde a la pregunta ¿Qué

tan eficiente sería llevar a cabo el desensamble, o que tan factible es llevar a cabo un reaprovechamiento de los materiales de manera redituable?, y

- **Logística de desensamble:** Abarca aspectos preparativos que han de ser planeados para llevar a cabo el proceso de remoción de los componentes de la estructura y sus materiales, es decir, aspectos que deben de ser tomados en cuenta por influir en la facilidad con la que tareas de desensamble y reaprovechamiento de componentes y materiales puedan llevarse a cabo.

La investigación de estos principios de la **EPyDAMM** puede ser vista como una forma de asignación de conocimiento tácito incorporado en los métodos de construcción tradicionales. La optimización de recursos es a menudo una cualidad implícita de la arquitectura vernácula, pero este conocimiento no suele ser transmitido de forma explícita. Los criterios para la EPyDAMM pueden describir y justificar la lógica vernácula en cierta medida.

### >4.2.1 Subsistemas

A menudo, las opciones de componentes o subcomponentes que ofrece el mercado, aptas para un proyecto en el que se busque un aprovechamiento maximizado de los materiales, son escasas, y el arquitecto o constructor termina por incluir en sus proyectos partes que poco aportan a un proyecto de desensamble. Esto se da porque en la construcción y diseño de edificios se sigue un flujo lineal no retroactivo en el cual no se involucra de manera participativa, en el diseño y planeación de los edificios, a la industria de fabricación de componentes. En proyectos, que por sus dimensiones lo ameriten, es importante que arquitecto o constructor, en conjunto con la industria, generen subcomponentes o componentes de construcción especialmente adecuados, en forma, función y durabilidad, para el edificio que se planea construir, ya que solo así se dará un flujo participativo arquitecto-industria en el proyecto arquitectónico, de lo contrario, el arquitecto, diseñador o constructor seguirá limitado a la oferta de productos que la industria ofrece y produce según su conveniencia, en muchas ocasiones por razones que distan mucho del aprovechamiento de materiales. Algunas de las grandes firmas de arquitectos se han dado cuenta de esto y desde hace algún tiempo sus proyectos siguen este flujo participativo. Por citar solamente un ejemplo podemos mencionar el edificio del Instituto del Mundo Árabe en París Francia, diseñado por Jean Nouvel. Para este

<sup>128</sup> Los niveles de descomposición técnica son Explicados en el capítulo II

edificio se fabricaron únicamente para su fachada, 240 paneles cuadrados que fueron agrupados en 30,000 pequeños diafragmas mecánicos de acero que, conectados a sensores fotosensibles, se abren y cierran de acuerdo con la intensidad lumínica, y cuya forma semeja los patrones encontrados frecuentemente en la arquitectura islámica llamados "mashrabiyya"<sup>129</sup>, dando como resultado un edificio de irrefutable belleza y funcionalidad.

A fin de poder adentrarnos más en las características físicas de los componentes y subcomponentes de construcción que rigen su capacidad de reutilización, reciclaje u otro medio para su reaprovechamiento, se estudiarán un total de diez particularidades que se engloban dentro de tres aspectos:

- Materiales
- Estratificación adecuada y
- Producción

>4.2.1.1 Materiales

Mientras que el tipo de materiales que se utilicen sea el adecuado para llevar a cabo el tipo de gestión de reaprovechamiento planeado y los materiales que tengan algún tipo de contacto entre sí presenten una compatibilidad favorable los unos con otros, este aspecto no presentará obstáculos para el AMM. En este sentido los puntos específicos a considerar son:

- Re-aprovechamiento:
  - Reutilización y Reciclaje
- Compatibilidad

Re-aprovechamiento

Cuando se diseña pensando en un AMM, se deben de emplear materiales que sea posible reaprovechar a través de cualquiera de las distintas formas posibles (tal y como lo muestra la ilustración 9 en el capítulo II). Sin embargo, debido a que siempre existirán obstáculos que disminuyen la capacidad de reutilización o reciclaje de los componentes de edificación o de los materiales, es necesario determinar cuándo vale la pena, en términos ambientales, superar dichos obstáculos y en función de

ello un primer paso para la EPyDAMM, en relación con los materiales, consiste en determinar qué forma de reciclaje es a la que aspiran los materiales de construcción, qué partes pueden ser reutilizadas y cuales otras están compuestas de materiales reciclables (teniendo siempre como regla general que la reutilización será siempre mejor que el reciclaje) y finalmente qué partes son peligrosas o tóxicas, (ver ANEXO 2). Se recomienda evitar materiales que sean tóxicos, tanto para el ser humano como para el ambiente, ya que además de poner en riesgo la salud de sus usuarios, hace más difíciles y riesgosas las labores de mantenimiento o de ensamble-desensamble, lo cual con frecuencia trae consecuencias económicas.

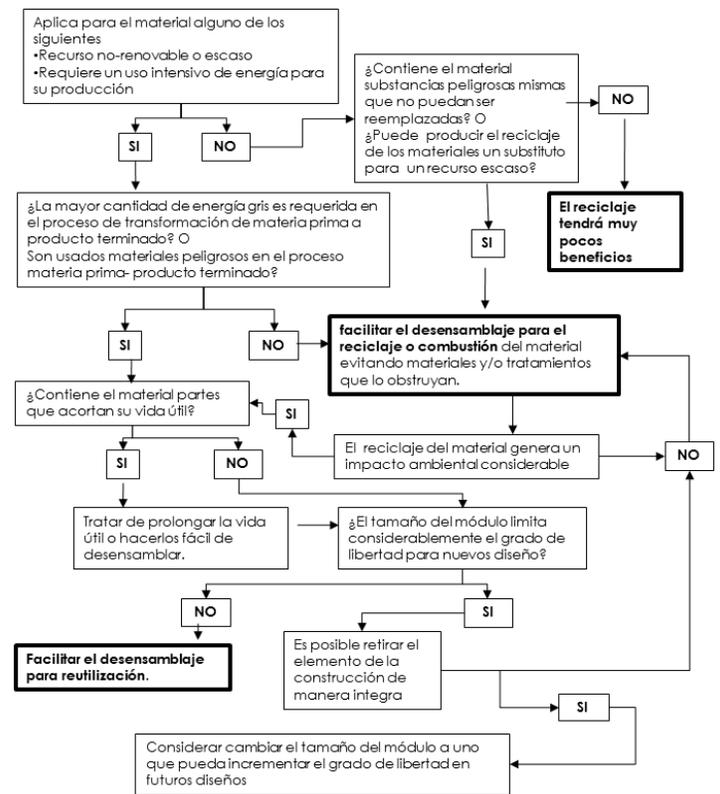


Ilustración 30 Cuestionamientos a seguir para determinar qué forma de reciclaje, de acuerdo al impacto ambiental, se espera como producto de un diseño para el desensamble o el reciclaje

<sup>129</sup> MIMOLESKINE (agosto 2009) Jean Nouvel: instituto del mundo árabe, extraído el 19 de septiembre del 2011 de: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2009/08/jean-nouvel-instituto-del-mundo-arabe.html>

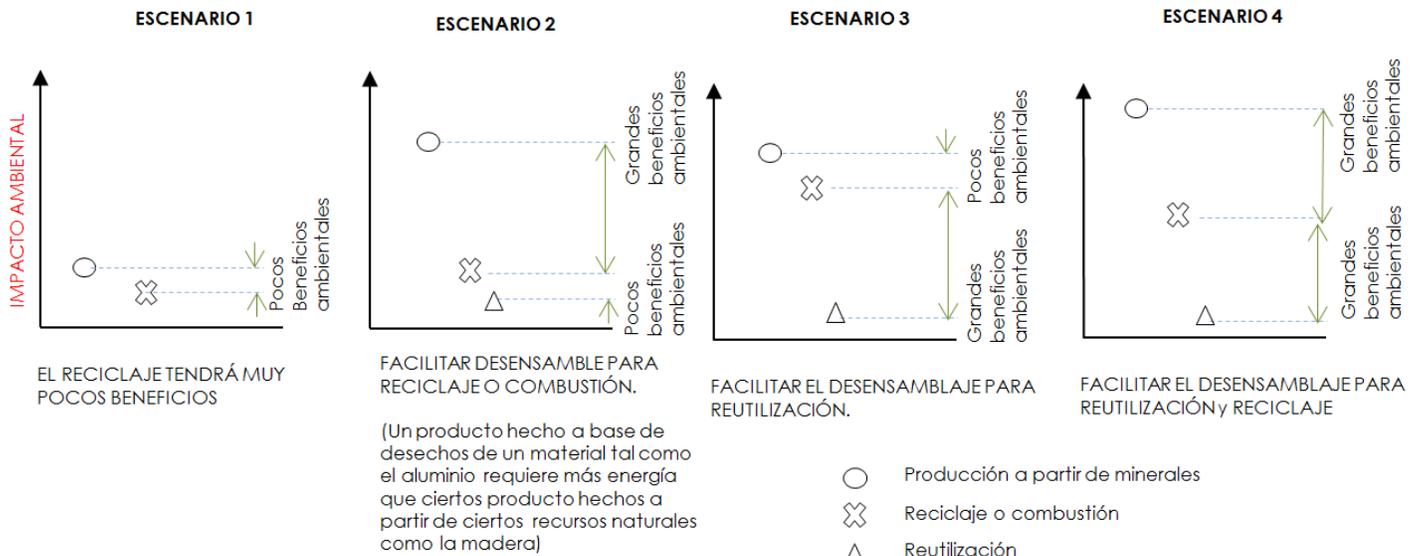


Ilustración 31 Posibles escenarios referentes a la gestión de los RCD

Thormark en su publicación "Recycling potential and design for disassembly in buildings", propone un método para definir cuándo vale la pena reutilizar o reciclar un material. Este método ha sido tomado como base para la realización del esquema que se detalla en la Ilustración 30. Es importante señalar que este método de decisión puede suponer, en ocasiones, una tarea difícil de llevar a cabo para ciertos materiales, debido a que se requiere un conocimiento general y quizá información específica sobre los siguientes aspectos de los materiales:

- Uso de materia prima
- Energía utilizada para su producción
- Utilización de sustancias o materiales peligrosos
- Opciones de reciclaje y su utilización de energía.

Como resultado de este proceso para la toma de decisión hay tres posibilidades:

- Si el resultado es "el reciclaje tendrá muy pocos beneficios", (escenario 1 -Ilustración 31-) la producción del material propuesto tiene un impacto ambiental bajo y el reciclaje tendrá también pocas ventajas ambientales.
- Si el resultado es "facilitar el desensamble para el reciclaje o combustión del material", (escenario 2 -Ilustración 31-) existe una ventaja relativamente pequeña en reutilizar el componente comparado con la opción de reciclar o llevar

a cabo una combustión del material. Es importante mencionar, que para materiales que requieren un uso intensivo de energía para su producción, tales como el aluminio, su producción a base de desechos seguirá requiriendo mucha más energía que para la producción correspondiente de un componente de madera por ejemplo.

En este caso es importante tomar en consideración ciertas recomendaciones particulares:

- Cuando el **reciclaje primario** es la opción más adecuada para el fin de CVT de un material, se recomienda el uso únicamente de monomateriales primarios. Un monomaterial primario es un material único y homogéneo usado en su estado natural, por ejemplo madera sin tratamiento. Entre las labores que se ven involucradas en el re-aprovechamiento de los componentes o subcomponentes de edificación está la de revisar la calidad de los mismos, una vez que éstos han sido removidos. Este tipo de tareas se puede llevar a cabo de manera mucho más práctica si se han empleado componentes no solamente estandarizados, sino también de un solo material.
- Cuando la opción más adecuada para el fin de CVT es la de un **reciclaje secundario o terciario**, pueden emplearse monomateriales secundarios; esto es, materiales mezclados, por ejemplo una madera tratada.
- Los materiales compuestos finalmente se recomiendan únicamente en caso de que su potencial de **reutilización** sea alto ya que según lo refleja un estudio llevado a

cabo por la Dra. Sassi, este tipo de materiales a menudo son imposibles de reciclar pero fácilmente reutilizables.

Cuando se hace una buena elección de los materiales además de reducir los desechos, se incrementa el valor del producto cuando este necesita ser reemplazado, incentivando el mercado del reciclaje.

- Si el resultado es "Facilitar el desensamble para una reutilización futura", (escenario3 -Ilustración 31-) la reutilización es una alternativa considerablemente mejor en términos ambientales que el reciclaje o combustión del material.
- Finalmente, y como se presenta en la mayoría de los casos, puede ser que el resultado sea "facilitar el desensamble para la reutilización y el reciclaje del material" (escenario 4 - Ilustración 31-), en estos casos, ambas tareas disminuyen en gran medida el impacto ambiental generado por la transformación y producción de la materia prima y producto terminado respectivamente.

Bajo este planteamiento, vale la pena estudiar qué ocurre con el acero.

Si bien, para este material, la cantidad de energía requerida para su producción depende de una gran cantidad de factores, ésta siempre es considerada como elevada. Diversas fuentes refieren que la cantidad de energía requerida para producir acero a partir de minerales, es decir, no de material reciclado, varía de 32 a 35 Mj/kg.<sup>130</sup> Por otra parte el proceso de transformación de recurso primario a materia prima requiere de una cantidad de energía y produce un impacto ambiental importante, de la misma manera que lo hace el proceso de transformación de materia prima a producto terminado. En otras palabras, esto significa que si se recicla el acero, el impacto medioambiental disminuye, más no se elimina por completo; si tomamos como referencia las mismas fuentes que citan la cantidad de energía requerida para producir acero virgen, esto es a partir de minerales, estas nos dicen que para producir acero reciclado se requiere entre 8.9 y 10.1 Mj/kg, esto es, que el reciclaje puede ahorrar alrededor de un 70% de la

energía gris.<sup>131</sup> Por último, como se verá más adelante, cuando se trabaja con perfiles y secciones normalizadas, el tamaño del módulo da una gran libertad para nuevos diseños, lo cual trae como consecuencia que estructuras a base de elementos fabricados a partir de acero A-36 sean considerados bajo las implicaciones del escenario 4, esto quiere decir, que la planeación de una estructura de acero de estas características debe procurar un desensamble para su reutilización o en su defecto para su reciclaje, tal y como se han venido planteando desde el capítulo 2, y como también lo expone el proyecto de investigación "Edificios y acero sustentable". A continuación se expone una síntesis de este proyecto realizado por la asociación de investigación de la *industria básica o pesada* (HERA por sus siglas en inglés) de Nueva Zelanda junto con la universidad de Auckland en donde hace referencia a la jerarquización de tareas para la adecuada gestión de residuos de acero. Entre paréntesis se ha indicado su equivalente con la jerarquización presentada en el capítulo 2.

1. Reutilización de todo el edificio tal y como esta. (Adaptación)
2. Desmontar y reutilizar una estructura de un edificio existente en el mismo sitio (Reutilización Directa)
3. Desmantelar una estructura y reutilizarla por completo en un nuevo sitio (Reutilización en otras obras)
4. Reutilización de componentes individuales tales como vigas, columnas, escaleras, de edificios desconstruidos en nuevas edificaciones, alterándolos de manera mínima. (reutilización previa transformación)
5. Reutilización de componentes individuales tales como vigas, columnas, escaleras, de edificios desconstruidos en nuevas edificaciones, alterándolos en forma considerable. (reutilización previa transformación)
6. Reciclaje de acero<sup>132</sup> (Reciclaje primario)

### Reutilización

De acuerdo con el análisis anterior, se debe procurar la reutilización, pero ¿qué tan factible es ésta?

Una característica de los elementos que forman parte de las estructuras de acero, es que permiten una reutilización, tal y

<sup>130</sup> SWEDISH INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, (s.f.) *Sustainability of steel-framed buildings*, extraído el 26 de marzo del 2012 de: [http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/SBI-Sustainability\\_of\\_steel\\_framed\\_buildings.pdf](http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/SBI-Sustainability_of_steel_framed_buildings.pdf) P.9 y **Victoria University of Wellington** (2007) *Table of Embodied Energy Coefficients*. Extraído el 26 de marzo del 2012 de: <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/resources/index.aspx> p.3 y **BERGE, B.**, (2000) *Ecology of Building Materials*. U.K.: Oxford Architectural Press. P. 23

<sup>131</sup> La **energía gris** se refiere a la cantidad de energía consumida en todas las fases del ciclo de un producto, material o servicio

<sup>132</sup> **HERA, SUSTAINABLE STEEL CONSTRUCTION** (s.f.) *Steel Reuse*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [http://johnjng.co.nz/green\\_web/reuse.php](http://johnjng.co.nz/green_web/reuse.php)

como lo aseveran diferentes organismos reconocidos internacionalmente como:

- AISC (*American institute of Steel construction*) en su publicación: *The Sustainable Aspects of Structural Steel*<sup>133</sup> y la
- *Worldsteel association* en su publicación: *The three Rs of sustainable steel*<sup>134</sup>

Sin embargo la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales mejor conocida como la ASTM señala en su norma para conexiones a base de pernos ASTM A325 o A490,<sup>135</sup> que no en todos los casos se pueden reutilizar este tipo de pernos, considerados de alta resistencia. Este tipo de pernos no son reutilizables cuando hayan sido tensionados al máximo de acuerdo con el procedimiento que se indica en la misma norma en la sección 8.2. La reutilización de pernos no galvanizados ASTM A325 es posible siempre y cuando haya sido aceptada por el calculista. (en la norma lo llaman SER que proviene de *Structural Engineer of Record*).

Existen algunos casos exitosos de edificios estructurados en acero, que han sido re-ensamblados y reutilizados. Un ejemplo lo encontramos en los laboratorios de investigación y ensayos del BRE en Cardington, Inglaterra. Éste es un edificio de 3,720 toneladas de acero, que en un principio fue un hangar en la ciudad de Norfolk y posteriormente fue desmontado, trasladado y reconstruido en su actual sitio –Cardington-.<sup>136</sup> Otro ejemplo es el Beddington Zero Energy Development (BEDZED) ubicado en el sur de Londres el cual empleó acero recuperado de construcciones locales.<sup>137</sup>

Otro ejemplo lo presenta Pulaski *et al*<sup>138</sup> con la escuela Roy Stibbs en Burnaby, Canada. Después de haber quedado completamente destruida tras sufrir un incendio en 1993, tuvo que ser vuelta a construir lo más breve posible. Para ello se

desarmo la estructura de otra escuela que estaba abandonada en el pueblo de Cassier al norte de British Columbia. Esta escuela se desmantelo en un 75% y se volvió a montar en Burnaby, después de haber hecho las respectivas pruebas que aseguraran que las secciones de acero resistirían después de una primer vida útil. Finalmente el contratista pudo acelerar 5 meses el proceso de construcción gracias al acero recuperado.



Ilustración 32 Edificio BEZED Extraído  
de:[http://www.zedfactory.com/projects\\_mixeduse\\_bedzed\\_gallery.html](http://www.zedfactory.com/projects_mixeduse_bedzed_gallery.html)

### Reciclaje

En la actualidad este se produce mediante dos rutas básicas: a partir del mineral (mineral de hierro, caliza y coque) o a partir de chatarra en el horno eléctrico de arco<sup>139</sup>.

El acero, a pesar de ser, tal y como se comentaba en el capítulo anterior, un material producto de una serie de aleaciones, se le puede considerar como un monomaterial, toda vez que puede reciclarse de manera íntegra. En el ANEXO 17 se presenta una tabla con un listado de los materiales más comunes y su posible gestión acompañada de una breve explicación de estas tareas, mencionando algunas desventajas o inconvenientes de ponerlas en práctica.

Algunos autores refieren que para fines de reciclaje, los componentes debieran de estar constituidos a partir de un solo material, sin embargo, debido a que esto rara vez ocurre, el aprovechamiento de los materiales dependerá en gran medida de su compatibilidad.

El acero al carbono es un material compuesto por una serie de materiales compatibles que son altamente reciclables al final su vida útil, esto es porque puede ser reciclado un número ilimitado

<sup>133</sup> **American institute of Steel construction** (2012) *The Sustainable Aspects of Structural Steel*. Extraída el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=17560>

<sup>134</sup> **WORLDSTEEL ASSOCIATION** (2010) *The three Rs of sustainable steel*. Extraído el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets.html>

<sup>135</sup> **RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS Committee** (2009) *Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*. Extraído el 26 de marzo del 2012 de: <http://www.boltcouncil.org/>

<sup>136</sup> **GERDAU AZA** (s.f.), *Reciclaje de la Construcción*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje\\_Construccion.asp](http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje_Construccion.asp)

<sup>137</sup> **REUSE-STEEL**(s.f.)*Projects*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: <http://www.reuse-steel.org/projects.aspx>

<sup>138</sup> **PULASKI , M. et al** (2004)*Design for Deconstruction P.3* extraído el 26 de marzo del 2012 de: <http://www.usgbc.org/>

<sup>139</sup> **GERVÁSIO, H.** (s.f.) *La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.construccionenacero.com/Paginas/ArticulosyPublicaciones-Revista.aspx p.19>

de veces, sin perder calidad.<sup>140</sup> Y <sup>141</sup> Al ser magnético, es un material fácilmente separable del resto de los metales mediante electroimanes en los centros de acopio y en la misma planta de reciclaje, (Existe una excepción con los aceros inoxidables austeníticos ya que estos no son magnéticos, sin embargo pueden llegar a serlo después de ser tratados en frío<sup>142</sup>.)

El acero, junto con otros materiales como el aluminio, el cobre etc. son materiales con un gran potencial de reciclamiento ya que existe una demanda permanente de ellos en parte debido a que sus posibilidades de reciclado no se limitan a un solo tipo de productos, esto significa que forman parte de productos que se encuentran en sectores muy diversos entre los que se encuentran, la industria mecánica, la construcción e incluso objetos de uso doméstico. Se dice que el acero es el material más reciclado del mundo. De los más de mil millones de toneladas anuales producidas de acero, cerca del 43% es reciclada proveniente de chatarra, inclusive está siendo reciclado más que el aluminio, el plástico y el vidrio sumados.<sup>143</sup> Por cada tonelada de acero reciclado se ahorra 1.25 toneladas de mineral de hierro, 630 kg de carbón y 54 kg de caliza.<sup>144</sup>

Todo esto hace que los residuos metálicos sean fácilmente *valorizables*<sup>145</sup> toda vez que su reciclaje:

- Evita extraer grandes volúmenes de roca para obtener el mineral
- Evita el proceso de transformación de mineral a metal el cual ocupa un intensivo gasto de energía y produce altas cantidades de dióxido de carbono.

- Evita el transporte desde las zonas de extracción alejadas de los grandes centros de producción, el cual requiere de mucha energía y provoca, nuevamente, emisiones de CO<sub>2</sub>.<sup>146</sup>

Para facilitar el reciclado de los metales, en primer lugar es necesario almacenarlos correctamente, separando los metales de los restantes residuos. Esta separación selectiva debe completarse con otra separación que tenga en cuenta los diferentes tipos de metal. El metal no férrico debe separarse del metal férrico, ya que el valor residual varía significativamente de uno a otro.

Bajo este razonamiento, podemos considerar asignar, para la etapa de evaluación que se estudia en el siguiente capítulo, un valor de 1 (dentro del rango [0,1]) para describir la capacidad de reutilización y reciclaje que tiene el acero. Esto representa que este material no solamente es reciclable y reutilizable en gran medida, si no que además estas tareas con altamente deseables.

#### Compatibilidad

El potencial de reutilización y reciclaje de los componentes de una edificación, depende de dos cuestiones que tienen que ver con la compatibilidad externa e interna.

La compatibilidad externa radica en cuidar que los elementos no queden expuestos a otros componentes o agentes que puedan afectar de manera negativa sus ciclos de vida técnicos. La interna, en que se compongan de materiales compatibles para un reciclaje primario lo cual ya fue explicado en el punto anterior.

En el caso particular del acero al carbono, a diferencia del acero inoxidable, es importante cuidar que éste no quede expuesto de manera directa a humos, vapores industriales u otros agentes altamente corrosivos como la humedad, ya que es un material que se corroe en presencia de un *electrolito*<sup>147</sup>. Antes del montaje, todos los elementos deben protegerse adecuadamente, con pinturas u otros productos que retrasen el proceso de corrosión, para así evitar que ésta ocasione disminuciones de resistencia o perjudique su comportamiento

<sup>140</sup> **STEEL RECYCLING INSTITUTE** (2009) *The Inherent Recycled Content of Today's Steel*. Fact Sheet. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.recycle-steel.org/en/Recycling%20Resources/Steel%20Recycling%20Rates.aspx>

<sup>141</sup> **American institute of Steel construction** (2012) *The Sustainable Aspects of Structural Steel*. Extraída el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=17560>

<sup>142</sup> **OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE LA SOLDADURA** (s.f.) *Austeníticos*. Extraído del sitio web: Observatorio tecnológico de la soldadura el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146&Itemid=30](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=30)

<sup>143</sup> **GERDAU AZA** (2009) *Por qué construir con acero reciclado?* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.revistatc.com/?p=2024>

<sup>144</sup> **GERVÁSIO, H.** (s.f.) *La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.construccionenacero.com/Paginas/ArticulosyPublicaciones-Revista.aspx> p.19

<sup>145</sup> **Valorización** se entiende por dar valor a los elementos y materiales de los residuos de la construcción o demolición. Es aprovechar los materiales, subproductos y sustancias que contienen. La valorización de los residuos evita la necesidad de enviarlos a un vertedero controlado y también evita que desaprensivos los eliminen mediante el sistema de vertido incontrolado en el suelo. P. 16

<sup>146</sup> **GONZÁLEZ I BARROSO J. et al** (2000) *Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Instituto de la tecnología de la construcción de Cataluña. España.

<sup>147</sup> Un **electrolito** es cualquier sustancia que contiene iones libres.

en condiciones de servicio, excepto cuando en los dibujos de fabricación o montaje se indique que algunas partes de la estructura no deban pintarse. Por lo demás, no existe incompatibilidad si se pinta, se recubre o queda en contacto con algún otro material. En este sentido, establecer valores para evaluar qué tanto se puede evitar su deterioro aisándolo de elementos que le perjudiquen, y con esto incrementar su aprovechamiento, resulta de un análisis particular de cada caso, en el cual se considere principalmente qué tanto acero tiene contacto directo con agua o con ambientes húmedos, teniendo especial cuidado en el mantenimiento que se les da a las conexiones cuando estas son mecánicas. Fuera de eso, es un material que puede ser reciclado o reutilizado aun cuando se le ha aplicado pintura u otro tipo de recubrimientos. Cabe señalar que nos referimos al acero estructural al carbón A-36, pues existen casos particulares como el que se presenta con el acero galvanizado que por su composición química presenta incompatibilidad al entrar en contacto con otros materiales como el cobre.

En algunos casos, las diferentes partes de un componente pueden no requerir de un desensamblaje, si son partes hechas de materiales similares y compatibles. La Ilustración 33 es un diagrama que muestra de manera lógica las consideraciones a tomar en cuenta respecto a la capacidad de desensamble y compatibilidad de materiales en función de poder lograr un reciclaje óptimo. La Tabla 11 contiene una lista del número de pasos que requiere cada combinación mostradas en la Ilustración 33.<sup>148</sup>

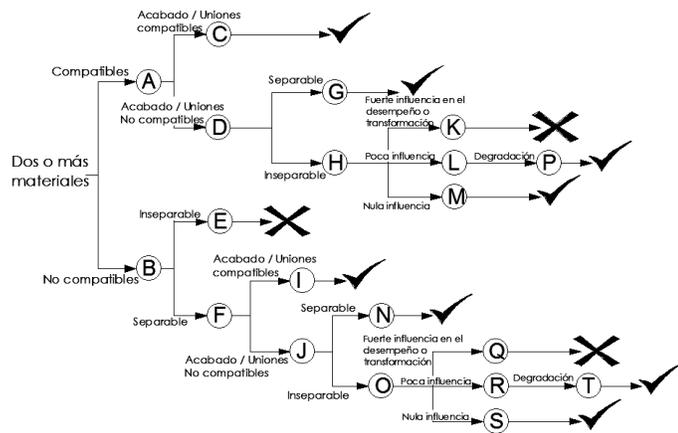


Ilustración 33 Esquema de compatibilidad entre materiales

<sup>148</sup> CHIODO J.,D., (2005) *Design for Disassembly Guidelines.*, Extraído el 06 de noviembre del 2011 de: [www.activeassembly.com/guidelines/](http://www.activeassembly.com/guidelines/)

Tabla 11 Relación compatibilidad-potencial de reciclaje

RECICLABILIDAD					
ALTA					NULA
2	3	4	5	6	X
A-C	A-D-G	A-D-H-M	A-D-H-L-P	B-F-J-O-R-T	A-D-H-K
	B-F-I	B-F-J-N			B-E
					B-F-J-O-Q

En el ANEXO 18 se presenta un resumen de la compatibilidad de los plásticos más usados.

Cabe señalar también que el empleo de materiales con propiedades distintas puede ser benéfico para el proceso de separación y clasificación de las diferentes partes de un componente. El uso de materiales magnéticos y no magnéticos en un ensamble, por ejemplo, se beneficia de la separación mecánica robotizada en grandes volúmenes. La separación por densidad es común en plásticos – Se recomienda mantener una diferencia en la densidad relativa de 0.03 entre los polímeros.

Finalmente, Thormark recomienda en su publicación “*Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings*” evitar aglutinantes a menos que sean compatibles con todas las partes con las que vayan a entrar en contacto.

#### > 4.2.1.2 Estratificación adecuada

Siguiendo el enfoque de Norby<sup>149</sup> no solo se requiere de una construcción por estratos sino más bien, de una *estratificación adecuada en la construcción*. Esto hace hincapié en el punto de que para lograr un aprovechamiento maximizado de materiales, una construcción por estratos no deberá de ser el objetivo por sí sólo, sino que cada estrato deberá de ser estructuralmente independiente y también colocado bajo un determinado orden dado por su respectivo tiempo de vida esperado, tanto técnico como de uso.

Este enfoque se basa en previas observaciones que han demostrado que los diferentes estratos de las edificaciones son afectados en tiempos distintos, por ello resulta necesario hacer posible la afectación según los propios ritmos de cambio de cada estrato, lo que implica que los componentes de larga duración deben de ser separados de los de corta duración a fin de facilitar la adaptación a las necesidades futuras.

<sup>149</sup> SIGRID, N. et al (2008) *Salvageability implications for architecture.* Noruega: Nordic Journal of Architectural Research Volume 20, No 3, p. 37 y 38 [versión digital] Recuperado el 06 de marzo del 2011 de: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:216805>

En este sentido, se estudiarán puntualmente los aspectos de:

- Separación de capas
- Coordinación de ciclos de vida

Separación de capas

El enmarañado de instalaciones entre los muros y las losas representa a menudo un problema al momento de desensamblar. Es recomendable separar estos sistemas en componentes según su naturaleza funcional y en todos los niveles de descomposición técnica (ver capítulo II punto 2.2.1 sobre la desarticulación sistémica de la edificación) a fin de que se pueda llevar a cabo una desconstrucción más rápida. Es por ello que este principio resulta fundamental para lograr una reutilización eficiente tanto del edificio completo como de sus componentes individuales.

Tabla 12 Relación entre los estratos para lograr el Aprovechamiento de

Si existe una... <b>Separación funcional</b> y una <b>independencia Técnica</b>		El resultado del <b>AM</b> (respecto a la separación de capas)
SI	SI	<b>SI</b>
NO	SI	<b>ESPORÁDICAMENTE</b> (Solo cuando coincida que en el elemento, componente o subcomponente a intervenir, las dos o más funciones que en él sean inseparables también demanden una intervención que previamente se haya planeado en conjunto.)
SI	NO	Esta configuración es imposible, toda vez que la independencia técnica antecede a una posible separación funcional
NO	NO	<b>NO</b>

Los diferentes niveles de descomposición técnica y las capas funcionales de una edificación se encuentran interconectados toda vez que un estrato de la edificación soporta al otro, lo cual trae como consecuencia que muy a menudo, y más en edificios modernos, los niveles de descomposición técnica se compongan de componentes a base de materiales con poca compatibilidad y las capas funcionales se fusionen en elementos o componentes de naturaleza heterogénea, es decir con diferentes funciones. Esto, a primera vista, pudiera parecer eficiente, y así suele ser en términos económicos a corto plazo, sin embargo el flujo de los ciclos de larga duración termina bloqueando, a mediano o largo plazo, los ciclos de corta duración lo cual repercute, a la postre, en grandes inversiones monetarias para la adecuación de los espacios o instalaciones.

Estos dos aspectos (funcional y técnico) están interrelacionados, más no siempre son dependientes el uno del otro. Su co-relación determinará la capacidad de aprovechamiento de materiales tal y como se observa en la Tabla 12. Resulta, por ello, necesario generar una transición entre los niveles de la edificación que permita una separación **técnica** (de los elementos, componentes, sub-componentes y materiales), a la par de una planeación funcional independiente (entre los estratos: sitio, estructura, envolvente, servicios, planificación del espacio y equipos móviles).

Bajo esta lógica, se verán por separado los aspectos:

- Separación de capas funcionales I y
- Separación de niveles de descomposición técnica

Separación de capas funcionales

Una separación funcional hará posible que cuando una capa de una edificación requiera cambios ya sea porque han dejado de cumplir su función o porque requieren un cambio en la función que desempeñaban (por ej. una envolvente que se haya deteriorado y se busque reemplazar o que se busque sustituir por otra más discreta, tras un cambio de actividades dentro de la edificación), estos se puedan ejecutar sin afectar niveles de descomposición técnica pertenecientes a otras capas funcionales de la edificación.

Durmisevic<sup>150</sup> nos detalla cuatro escenarios posibles bajo los cuales ocurre con mayor frecuencia la planeación funcional de los estratos en los edificios, y estos son:

Escenario 1: Integración total

Bajo este escenario, evidentemente la única capa que existirá será la estructura, que integrará en sí misma a todas las demás. Por ejemplo, la función de ciertos servicios puede ser proporcionada por esta única capa a través de un aprovechamiento de la inercia térmica de los materiales usados como parte de la estructura, almacenando calor para satisfacer las condiciones de temperatura de los espacios interiores; otro ejemplo es que ciertas partes de una estructura pueden ser llenadas de agua o alguna otra substancia que sirvan de protección activa ante incendios.

<sup>150</sup> DURMISEVIC, E. (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC. p. 166

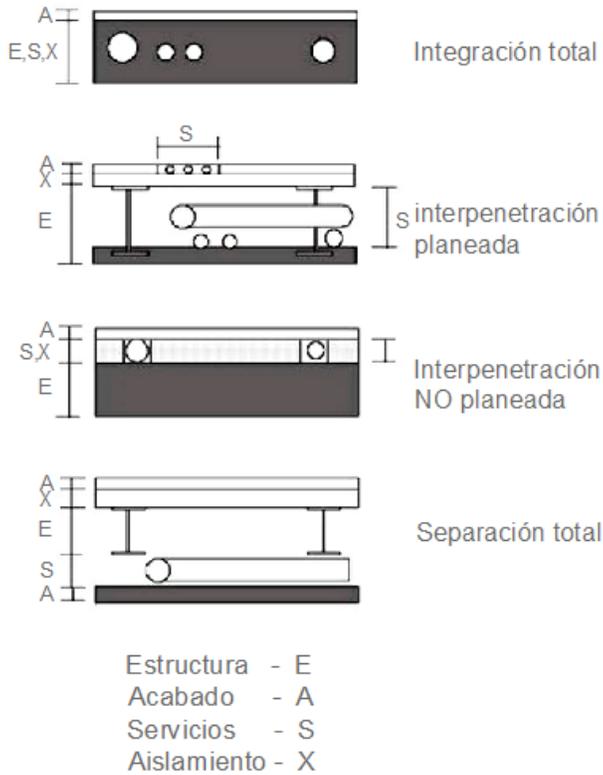


Ilustración 34 Principios de ensamblaje para el revestimiento de un muro. Fuente: Berge, B., (2000)

Escenario 2: Interpenetración planeada

Bajo esta configuración se planea de manera simultánea y conjunta, cuando menos dos estratos de la edificación, que por lo general son: "servicios" y "estructura". Se dejan vanos y/o adecuaciones en esta última que harán posible el paso de los primeros. Tiene la ventaja de manejar un orden pre-establecido y bien planeado de las instalaciones sin embargo, a menudo resulta poco flexible en comparación con la configuración de separación total.

Escenario 3: Interpenetración No Planeada

Este escenario, quizá uno de los más comunes en edificaciones de pequeña y mediana escala, se presenta cuando se deja un espacio vacío entre el componente estructural y los acabados a fin de que sean colocados posteriormente los servicios. Esto da mayores rangos de libertad en el diseño independiente de cada capa, no obstante aún sigue siendo inadecuada para llevar a cabo transformaciones en cualquiera de las capas.

Escenario 4: Separación Total

La separación total de las capas implica una planeación multidisciplinaria del edificio en conjunto, similar a cuando se planea una interpenetración planeada, con la diferencia de

que en este caso los esfuerzos se dirigirán a manejar cada capa de manera independiente. Diseñar de tal manera facilitará el proceso de recolección de los materiales dado que se puede remover uno a la vez.

Los sistemas constructivos que emplean al acero como material estructural resultan ideales para la separación funcional. Es decir, se puede pensar en una edificación que tenga un esqueleto de acero (estructura), un recubrimiento (envolvente) y un aislamiento en el interior (planificación del espacio y acabados) de manera casi independiente (Ilustración 35).

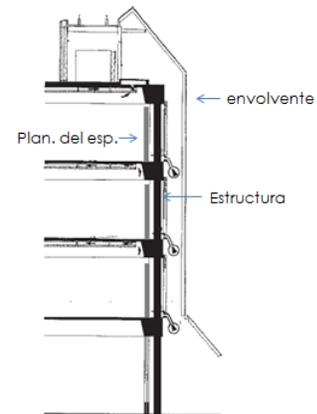


Ilustración 35 ejemplo de separación funcional en una edificación

Separación de niveles de descomposición técnica

En lo que se refiere a los niveles de descomposición técnica diversos autores hablan de ello, planteando la posibilidad y la necesidad de que componentes individuales dentro de cada capa sean fácilmente desensamblables. Este aspecto hace referencia a la cantidad de partes con: Ciclos de vida de uso o técnicos distintos, o materiales que atraviesen por procesos de reciclaje y/o reutilización distintos, en las que sea posible desensamblar un subsistema, tanto en obra como fuera de obra.

Componentes de construcción hechos de subcomponentes que pueden ser retirados individualmente, permiten la reorganización de estas unidades para adaptarse a nuevos y diferentes diseños. En el extremo opuesto del espectro se encuentran los elementos de construcción tales como ventanas o paneles prefabricados de gran tamaño o muy pesados que aparte de que requieren de maquinaria especializada para su ensamble-desensamble, también hacen más difícil su reutilización en edificios nuevos, toda vez que al estar compuestos de diferentes tipos de subcomponentes que actúan como un solo componente, deja pocas opciones de

reutilización limitando la flexibilidad. Esto constituye una barrera importante para su reutilización.

La Ilustración 36 muestra tres diferentes principios para el ensamblaje del revestimiento de un muro en una esquina, expuesto por Berge (2000). La parte sombreada muestra en donde hay un desgaste mecánico mayor, debido a los usuarios, mobiliario, viento y el clima.

- La opción más común hoy en día es la primera solución (a), en donde todas las partes tienen una calidad similar y están conectadas de manera permanente. Cuando ésta esquina sufre un desgaste, toda la estructura se ve afectada.
- En una gran cantidad de edificios públicos, la solución "b" es la opción elegida. Mediante el aumento en la calidad de las partes más expuestas al desgaste, la estructura puede tener una vida más larga. A menudo esta es una solución costosa y hace difíciles cambios en la planificación del espacio.
- En la solución "c", las partes más sujetas al desgaste pueden ser reemplazadas separadamente de manera fácil. El componente usado puede incluso ser reutilizado en otro lugar en donde la estética sea menos importante o bien puede ser canalizado para una reciclaje secundario o terciario.

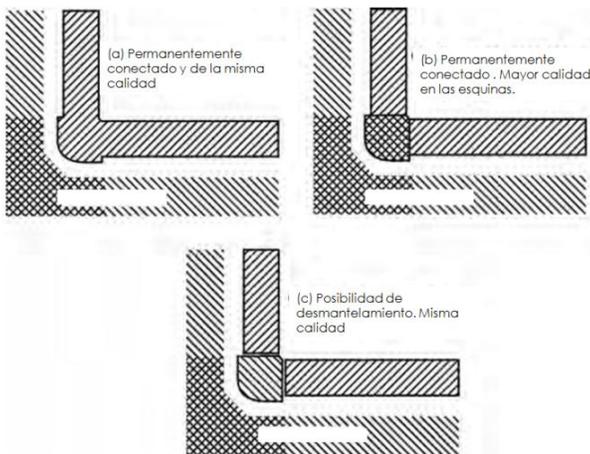


Ilustración 36 Escenarios de planeación de los estratos de acuerdo a su función. Ej. en piso. Fuente: Durmisevic (2007)

Sassi llega a la conclusión de que si el método de colocación de un elemento imposibilita su propia reutilización o reciclamiento, es muy probable que también imposibilite la reutilización o reciclamiento de los elementos a los cuales se encuentra ligado.

En una estructura de acero, este principio, de separación técnica, se cumple siempre y cuando las uniones dentro de la misma estructura sean de tipo mecánico y no soldadas. Es importante que los miembros estructurales formados por perfiles de acero no se encuentren ahogados en elementos de concreto reforzado. El punto 3.6 de la NTC-EM trata este tipo de construcción compuesta.

Ahora bien, si extrapolamos este principio a otras capas de la edificación, podemos ver que los acabados de techos y muros son ejemplos clásicos de este tipo de interconexión que afecta la reutilización o reciclamiento de su substrato, mientras que materiales panelizados con fijaciones mecánicas (ej. Madera o plástico) pueden ser fácilmente desmontables permitiendo tener un acceso fácil a las uniones que soportan la estructura y en última instancia permitiendo su desmantelamiento; Los acabados aplicados (ej. Yeso o azulejo) pueden dificultar en gran medida el acceso a estas uniones y en algunos casos imposibilitarlo por completo, además de que pueden también llegar a contaminar el material de la capa inferior, imposibilitando su reciclaje (ej. Yeso en mampostería).

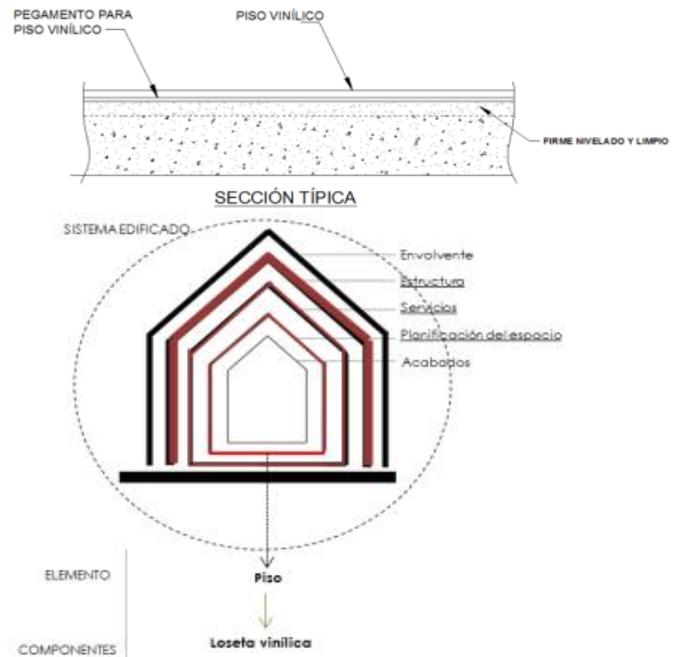
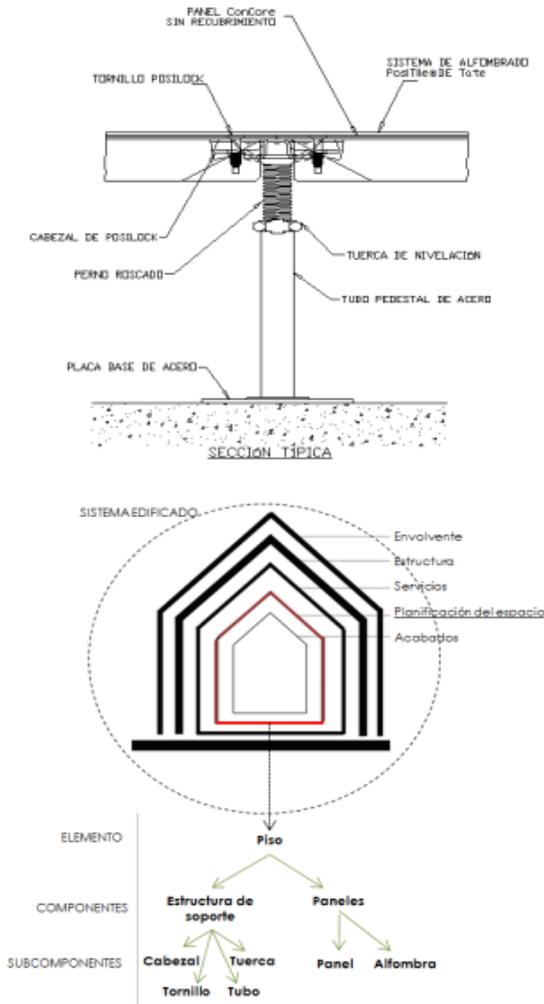


Ilustración 37 Ejemplo de comparación de piso falso sistema ConCore y loseta Vinílica



**Ilustración 38** Ejemplo de comparación de piso falso sistema ConCore y loseta Vinílica

En las ilustraciones previas se muestra cómo la colocación de un piso falso cumple con este principio de estratificación adecuada, al afectar solo a la capa funcional "acabados" y al hacer posible su descomposición técnica, es decir de cada uno de sus elementos, toda vez sus conexiones son mecánicas, diferente a lo que ocurre con las losetas de tipo vinílico.

La separación funcional y técnica que exista en una edificación con estructura de acero, al igual que la compatibilidad, no es una cuestión que pueda tratarse de manera general si no que depende de cada proyecto.

Coordinación de ciclos de vida

Tener en cuenta este factor, como todos los demás de la estrategia de la **EPyDAMM** no solo maximiza el

aprovechamiento de los materiales sino también hace más viable un regreso del capital invertido.

Se recomienda en general emplear componentes con ciclos de vida técnico (CVT) largos evitando aquellos que sean frágiles, ya que esto se traduce también en una mayor eficiencia de los recursos, en el sentido de que los componentes podrán ser utilizados para varias generaciones de edificios.

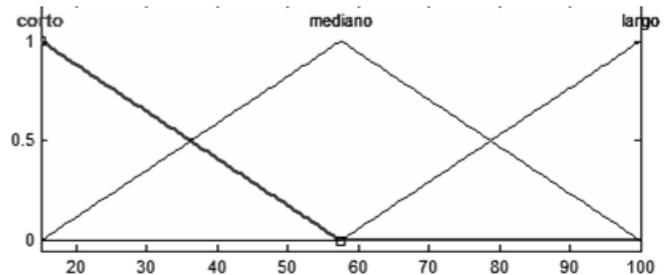
En muchas ocasiones resulta difícil predecir el ciclo de vida de uso (CVU) y el CVT de ciertos elementos, por ejemplo una estructura de acero. Es por ello que a continuación se presenta parte de un análisis (que sirvió para el caso de estudio que se expone en el capítulo VI) para demostrar el criterio bajo el cual se deduce que por lo general resulta más conveniente diseñar pensando en CVT largos, en función de que esto da mayores potenciales de reutilización (PR).

Si se tienen tres escenarios posibles: Diseñar con ciclos de vida cortos, medianos o largos y tres estados de la naturaleza posibles y equiprobables, similares para los CVU (corto, mediano o largo) el método para decidir bajo qué escenario es mejor diseñar es:

Establecer los valores que corresponden a un ciclo de vida (CV) corto, mediano o largo. Dado que estas son categorizaciones relativas, lo más apropiado será manejarlo a través de la lógica difusa (ver ANEXO 16) de esta manera se dice que:

- Un CV corto va de 15 a 57.5 años
- Un CV mediano va de 15 a 100 años
- Un CV largo va de 57.5 a 100 años

Tal como lo muestra la siguiente imagen:



**Ilustración 39** función de pertenencia para CV

En seguida se establecen funciones de pertenencia para los potenciales de reutilización con los siguientes valores

- Nulo: 0 a 0.15
- Bajo: 0.15 a 0.45
- Medio: 0.45 a 0.75
- Alto: 0.75 a 1

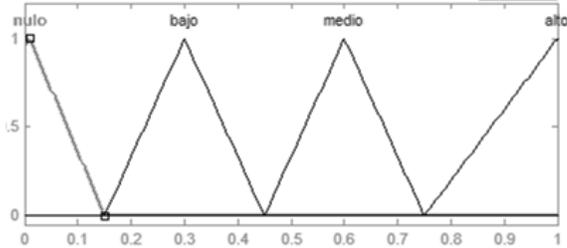


Ilustración 40 Funciones de pertenencia para potenciales de reutilización

Y posteriormente se establecen reglas que relacionen los escenarios posibles con los potenciales de reutilización:

- Si el CVU es corto y el CVT es corto entonces el P.R. es bajo
- Si el CVU es mediano y el CVT es mediano entonces el P.R. es bajo
- Si el CVU es largo y el CVT es largo entonces el P.R. es bajo
- Si el CVU es largo y el CVT es corto mediano el P.R. es nulo
- Si el CVU es largo y el CVT es corto entonces el P.R. es nulo
- Si el CVU es mediano y el CVT es corto entonces el P.R. es nulo
- Si el CVU es mediano y el CVT es largo entonces el P.R. es medio
- Si el CVU es corto y el CVT es largo entonces el P.R. es alto
- Si el CVU es corto y el CVT es mediano entonces el P.R. es medio

Dando como resultado una gráfica que deja ver esta relación

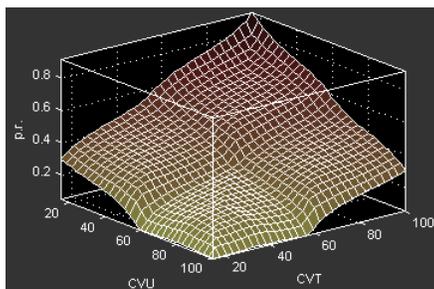


Ilustración 41 Gráfica de Potencial de reutilización en relación con el CVT y el CVU

Posteriormente se evaluó el sistema de inferencia difuso (FIS) con las reglas y las funciones de pertenencia descritas anteriormente dando como resultado para cada estado de la naturaleza los siguientes valores:

Tabla 13 Matriz de potencial de reutilización

POTENCIAL REUTILIZACIÓN		VIDA ÚTIL		
		corto	mediano	largo
VIDA TÉCNICA	corto			
	mediano	0.3432	0.2235	0.1314
	largo			
		corto	mediano	largo
		0.497	0.3441	0.2235
		0.6673	0.497	0.3432

Empleando cualquier criterio de toma de decisión bajo los procesos que a continuación se muestran, la opción más conveniente es CVT largo.

Tabla 14 Procesos de toma de decisión

CRITERIOS DE TOMA DE DECISIÓN			
MAXIMAX	MAXIMIN	HURWICZ	MINIMAX
0.3432	0.1314	0.2327	0.1892
0.497	0.2235	0.3549	0.1069
<b>0.6673</b>	<b>0.3432</b>	<b>0.5025</b>	<b>0</b>

Es importante señalar que la matriz inversa a la del "potencial de reutilización" daría los respectivos potenciales de vertido por obsolescencia, valores que no son tomados en cuenta dado que los estados de la naturaleza con los que se trabaja son equiprobables.

Por otra parte, el hecho de que cada material empleado en la fabricación de los componentes constructivos presenta ciclos de vida distintos y por lo general los ciclos de vida técnicos son mayores que los de uso, hace urgente la necesidad de manejar un adecuado ordenamiento entre las capas de la edificación de acuerdo a los ciclos de vida dentro de ella. Esto facilitará la

remanufactura, o reciclaje cuando la vida técnica de un componente es menor a la vida de uso y permite la reutilización cuando la vida técnica es mayor al ciclo de vida de uso.

A continuación se presentan dos gráficas que relacionan estos aspectos de los cuales se ha venido hablando y que han sido realizadas tomando como base tres gráficas presentadas por Durmisevic<sup>151</sup>

La primera gráfica muestra el crecimiento y declive de las demandas de espacios dentro de una edificación en relación con lo que ésta puede ofrecer en un periodo de cincuenta años. En relación a esto, la segunda gráfica muestra el rendimiento técnico requerido para estos cambios. Se puede observar en esta gráfica cómo cuando los requerimientos de uso no se cumplen por el estado técnico se requiere de la acción económica tal como la inversión para el reemplazo, sustitución o adecuación de componentes.

RELACIÓN SUMINISTRO-DEMANDA DE ESPACIOS

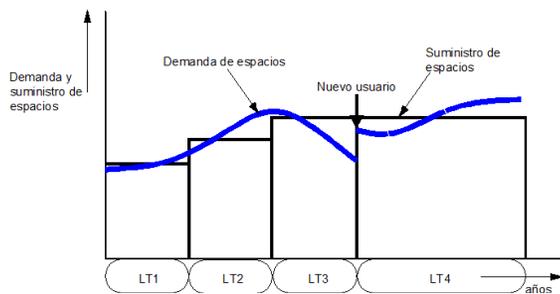


Ilustración 42 Relación suministro-demanda de espacios. Fuente: Durmisevic (2002)

TIEMPO DE VIDA TÉCNICA

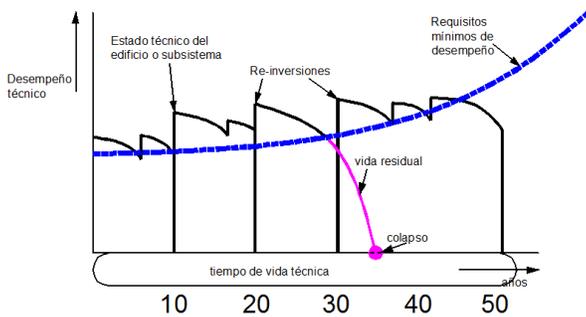


Ilustración 43 Tiempo de vida técnica

Cualquier intento por determinar un periodo aproximado promedio esperado de vida de los edificios al momento de ser diseñados dará resultados vagos y poco concretos sin embargo

<sup>151</sup> DURMISEVIC, E (2006), *Op cit.* p. 65

se citará a continuación lo que algunos autores han comentado al respecto.

González Mora R., comenta que en general las edificaciones se diseñan bajo una expectativa de vida aproximada de los cincuenta a setentaicinco años,<sup>152</sup> luego de los cuales requieren para su sobrevivencia una intervención general.<sup>153</sup> Sin embargo este último autor menciona que estas son las expectativas más reales a pesar de que los valuadores en muchas ocasiones, relacionan los inmuebles con los componentes o materiales que se caracterizan por vidas útiles de más de 50 años. Citando el ejemplo que expone en “Vida útil ponderada de edificaciones”<sup>154</sup>, menciona que si solo se toman en cuenta los elementos de concreto, fierros, materiales de PVC, etc., el valorador erróneamente podría concluir que la expectativa de los inmuebles en un 100% de los casos, se ubicará en rangos de vida de hasta ochentaicinco años. HERNÁNDEZ C.,O., y MENDOZA E., C., (2006)<sup>155</sup> refieren que las estructuras de concreto normalmente se diseñan con una vida de servicio de cincuenta años, a pesar de casos en los que a causa del entorno urbano o marinos algunas estructuras se deterioran a los veinte años. También existen normas que solo fijan criterios de durabilidad y vida útil mínimos para el diseño de estructuras de concreto, como la norma brasileña NBR 6118-200 que establece un mínimo de cincuenta años.<sup>156</sup>

¿Por dónde empezar para la adecuada coordinación de los ciclos de vida?

Una vez que se ha llevado a cabo un análisis de los estratos funcionales de la edificación y de los niveles de descomposición técnica de la misma es importante realizar el análisis para la adecuada estratificación en función de los ciclos de vida. Siguiendo el enfoque planteado por Durmisevic<sup>157</sup> se puede hacer a través de matrices de coordinación de ciclos de vida,

<sup>152</sup> DURMISEVIC, E (2006), *Op cit.* p. 69

<sup>153</sup> GONZÁLEZ, M., R. (2005) *Vida útil ponderada de edificaciones*, (Tesis de Maestría en Valuación por la Universidad a distancia de Costa Rica en conjunto con la Universidad Benemérita de Puebla) p. 44 [Versión digital] extraída el 07 de mayo del 2011 de: <http://www.uaca.ac.cr/bv/ebooks/topografia/3.pdf> p. 19

<sup>154</sup> GONZÁLEZ MORA, Ronny, (2005) *Op cit.* pág. 44

<sup>155</sup> HERNÁNDEZ C.,O., y MENDOZA E., C., (2006) *Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico*, México: UNAM, División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería. [versión digital], Extraído el 08 de septiembre del 2011 de: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/404/40470105.pdf>

<sup>156</sup> ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (2001) citado en DaSILVA, T. (2002) *La predicción de la vida útil y de la vida residual de las construcciones*, Brasil: Universidad Federal de Uberlândia Facultad de Ingeniería Civil p.2

<sup>157</sup> DURMISEVIC, E (2006), *Op cit.* p. 115

para lo cual antes es importante contar con información referente al tipo de gestión que se planea aplicar al componente o material que se pretenda aprovechar después de un primer ciclo de vida. Con esta información, se procede a graficar las matrices de coordinación de ciclos de vida que no son más que una relación entre los ciclos de vida de los elementos o materiales de construcción que permiten determinar el potencial de reutilización que existe entre los componentes en función de las diferencias entre los ciclos de vida (CVT y CVU) en un mismo componente o material.

Tabla 15 Matrices de coordinación de ciclos de vida

Subsistema	CASO 1			CASO 2			CASO 3		
	DVT	DVU	PR	DVT	DVU	PR	DVT	DVU	PR
Cimentación	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Estructura exterior	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Estructura interior	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Pisos	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Escaleras	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Losa	75	75	0	75	75	0	75	10	65
Fachada	75	75	0	75	75	0	75	6	69
Puertas y ventanas exterior	35	75	-40	35	75	-40	75	14	61
Acabados en techo	20	75	-55	20	75	-55	75	22	53
Muros divisorios	75	75	0	75	10	65	75	10	65
Acabados en muros	75	75	0	75	10	65	75	3	72
Puertas interiores	75	75	0	75	10	65	75	3	72
Acabados en pisos	60	75	-15	60	20	40	75	13	62
instalaciones de calefacción	35	75	-40	35	10	25	75	13	62
Instalaciones hidráulicas	35	75	-40	35	25	10	75	10	65
Sistemas de ventilación	25	75	-50	25	25	0	75	15	60
Sistemas eléctricos	35	75	-40	35	10	25	75	10	65

PR: potencial de reutilización

A continuación se presentan los tres casos que son dados por la autora para ejemplificar este método:

- Caso 1 y 2: Representan proyectos de vivienda típicos. Representan el problema que se ha venido comentando a lo largo de este trabajo, en el que el sistema edificado responde a las necesidades de su primer usuario, bajo un enfoque rígido y estático bajo el cual, a través de los años y al cambiar de usuario el inmueble trae como consecuencia:
  1. La adecuación del mismo generando RCD y gran cantidad de materiales y energía que se desperdicia.
  2. Que las actividades del nuevo usuario (la duración de la vida útil -DVU-) tengan que adecuarse al

desempeño técnico de la edificación (la duración de la vida técnica -DVT-) y no al revés como debiera ser. Finalmente, sea cual sea la opción, este modo de construcción genera un nulo potencial de aprovechamiento de los materiales.

- Caso 2: Representa la construcción de edificios flexibles, con elementos que permiten ser adecuados de acuerdo a los diferentes CVU de los subsistemas que los componen. Como se puede observar en la gráfica respectiva, manejar estos subsistemas de manera independiente a través de una adecuada estratificación, permitirá potenciales de reutilización a los mismos.

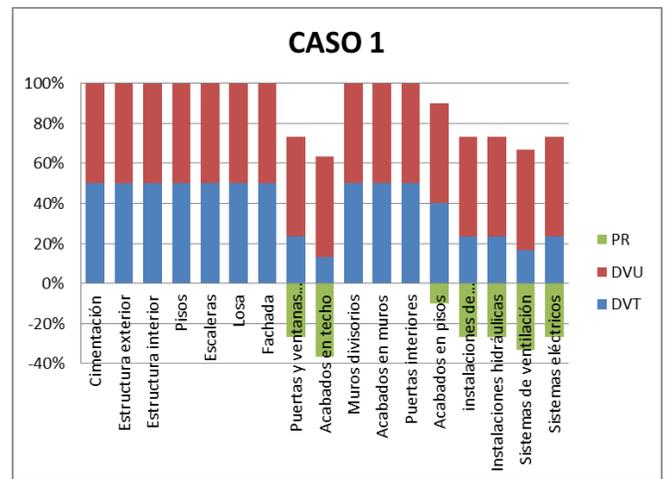


Ilustración 44 Gráfica representativa de caso 1

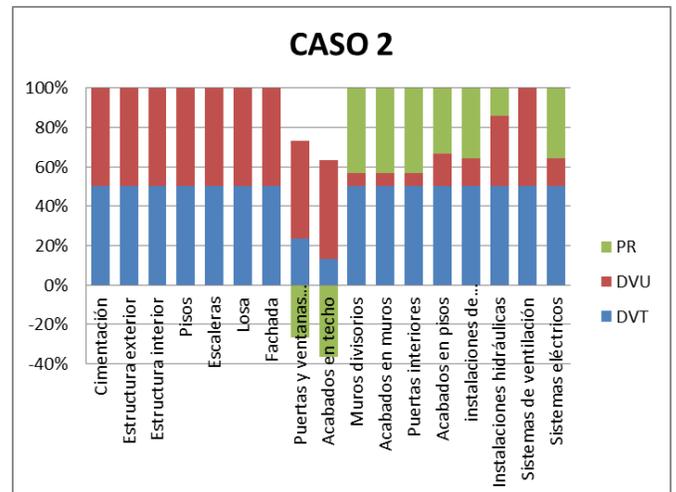


Ilustración 45 Gráfica representativa de caso 1

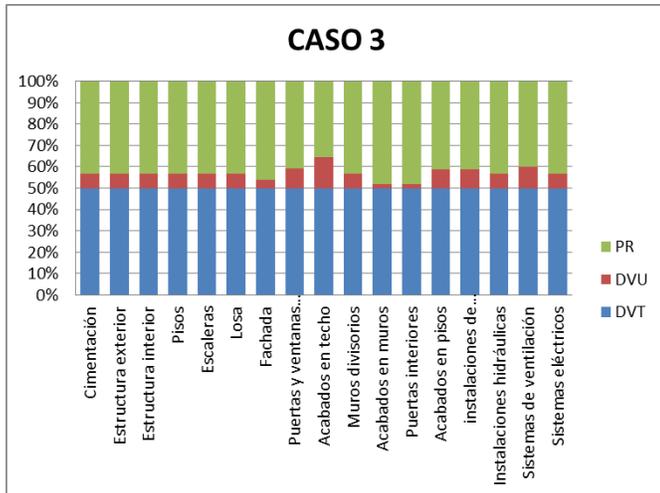


Ilustración 46 Grafica representativa de caso 3

Los componentes de construcción por lo general se componen de materiales que tienen CVT que van de los cinco a los setentaicinco años.

En función de lo que ya se ha expuesto, es importante considerar en el diseño de las edificaciones, a fin de lograr un AMM, la posibilidad de ensamblar, en la medida de lo posible, primero y desensamblar al final aquellos componentes o materiales que posean CVT más largos y así mismo ensamblar al final y posibilitar un desensamble fácil a aquellos que posean los CVT más cortos. Lo mismo para subsistemas en los que los CVU sean más cortos que los CVT.

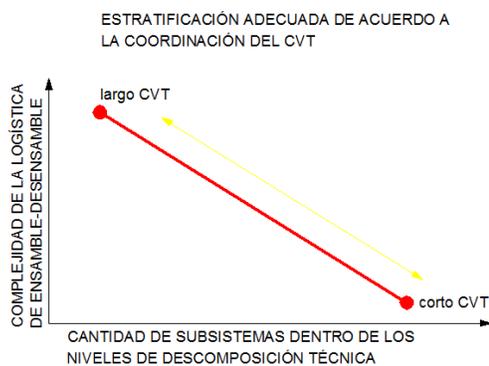


Ilustración 47 Estratificación adecuada en función de la coordinación de CVT

### >4.2.1.3 Producción

Este aspecto trata sobre la naturaleza de fabricación del componente o subcomponente, su estructura y los aspectos formales y estéticos dentro de los siguientes grupos respectivamente:

- Industrialización
  - Prefabricación
  - Modulación
- Fisonomía

De tal suerte que la producción de un subsistema o subcomponente será la adecuada siempre que este tenga tras de sí un proceso de industrialización total, una modulación integral y que su fisonomía no obstaculice la gestión que se busca.

#### Industrialización

La mayoría de sistemas constructivos industrializados de hoy en día están diseñados para tener un ensamble rápido y sencillo, sin embargo no todos consideran las labores de desensamble como un aspecto fundamental para su diseño, esto es porque hasta hace poco, se daba por hecho que las estructuras después de haber sido construidas o "ensambladas" y de haber cumplido su respectivo ciclo de vida, serían demolidas y vertidas, sin importar cuanto material aún recuperable podría ser rescatado, o cuanta energía cautiva se desperdiciaba.

Por ello, es importante modificar de fondo el enfoque que se les ha venido dando a la prefabricación y a la modulación en el ámbito de la construcción, pues han dejado de ser un medio para lograr la sostenibilidad de los proyectos mismos convirtiéndose en la meta per sé del proyecto; de esto nos habla la Dr. Durmisevic al referir como ésta industria se ha venido desarrollando en una carrera por lograr los elementos prefabricados más grandes para un ensamble cada vez más rápido y menos costoso, sin embargo, a mayor tamaño de los elementos estandarizados, mayor predominio tendrán en el diseño del edificio. Ejemplos hay muchos en los que empresas han fracasado por haber dirigido sus esfuerzos únicamente en tener producciones que puedan construirse de manera rápida y a un bajo costo.

#### Prefabricación

Una prefabricación ideal será aquella que detrás de sí tenga un proceso industrializado total, es decir, aquella que atraviesa un subsistema o subcomponente el cual consta única y exclusivamente de partes que han sido fabricadas y ensambladas de manera industrial y no requiere de ajustes para su ensamble o colocación en sitio. Esto trae ventajas que se extienden al momento del desensamble ya que, además, y a

causa, de aumentar la calidad de fabricación de componentes o subcomponentes de construcción, y tras llevarse a cabo de manera consistente, reduce los residuos y tiempos de desconstrucción, agilizando los procesos de revisión de calidad para la reutilización. Estas ventajas se presentan, siempre y cuando las conexiones sean mecánicas, estén simplificadas y componentes enteros puedan ser desarmados de la estructura y transportados fuera del sitio para posteriormente ser desensamblados en subcomponentes y con esto, reducir los tiempos de desconstrucción.

Diversos expertos señalan que los elementos prefabricados industrialmente a menudo presentaban una elevada puntuación en términos de reutilización, sin embargo algunos presentaron un muy bajo grado de reciclamiento.<sup>158</sup>

Los elementos que forman parte de una estructura de acero, del tipo que aquí nos hemos referido, son todos elementos prefabricados con propiedades normalizadas. Los perfiles que se manejan en la industria siderúrgica mexicana son los que se presentan en la Ilustración 48. Si bien, en la mayoría de los casos se requiere hacer ajustes a las piezas que han sido pedidas, para su ensamble o colocación, es preferible tratar de hacer los menos posibles y con esto lograr que las piezas vengan de fábrica tal y como habrán de ser ensambladas ya en el sitio.

Habrán casos en los que se requiera de perfiles compuestos, (como las armaduras o vigas o columnas en cajón) en estos casos, para garantizar su operatividad y su reutilización de manera confiable, es importante seguir ciertas recomendaciones, entre las que destacan conectarlos no sólo en los extremos del miembro, sino también a intervalos a lo largo de su longitud; tampoco se requiere una conexión continua, si no una *por puntos* o *intermitente*. En general, el espaciamiento de los conectores o soldaduras no debe exceder de 24 veces el espesor de la placa más delgada o bien de 12 pulgadas, si el miembro es de acero "intemperizable" expuesto a la corrosión atmosférica, la separación máxima es de 14 veces el espesor o bien de 7 pulgadas, sin embargo para esto el AISC dedica una sección especial.<sup>159</sup>

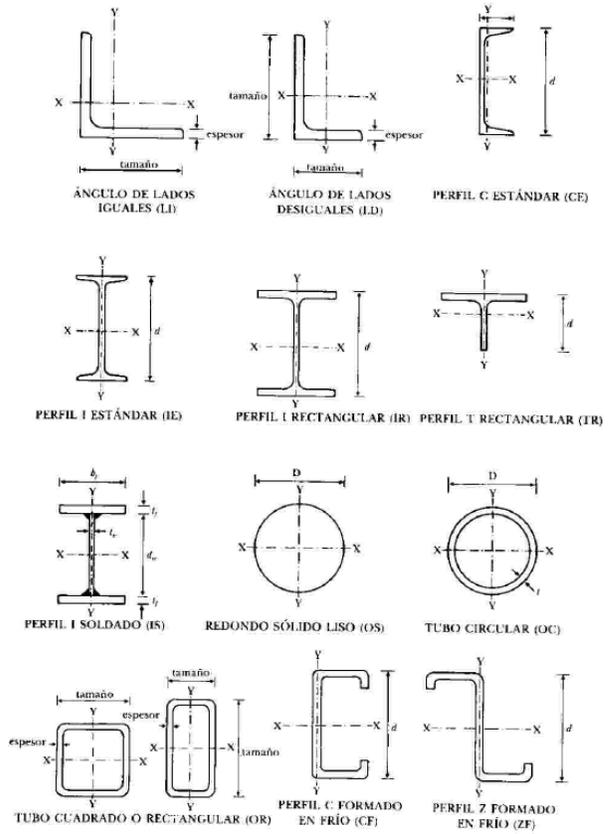


Ilustración 48 Nombres y símbolos de perfiles de acero. fuente: Manual de construcción en Acero IMCA

Cuando la edificación se erige a partir de armaduras, estas usualmente funcionan como los elementos principales de soporte de los sistemas de techo donde se requieren grandes claros. Ellas se usan cuando el costo y peso de una viga es prohibitivo. (Se puede considerar que una armadura es una viga de gran peralte con gran parte de su alma retirada).

Bajo este razonamiento, se puede pensar que si el elemento estructural, hecho a base de acero, posee un proceso completamente industrializado, esto es, prefabricado y sin la necesidad de ajustes mayores en obra para su colocación, se le asignará un valor de 1, si requiere de ajustes mayores, un valor de 0.75, y si se trata de un elemento que ha sido armado en obra se le dará un valor de 0.5.

Modulación

El enfoque de emplear la industrialización de los subcomponentes como un medio para lograr la sostenibilidad se debe complementar con una adecuada modulación, la cual dicta que el diseño de los componentes no siempre debe de ser

<sup>158</sup> SASSI, P . (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment.  
<sup>159</sup> SEGUI T. W. (1999) *Diseño de estructuras de acero con LRFD*. Trad. De la Cera, J. Thomson Editores, México. p. 58

lo más grande posible, sino que se debe normar entre las cuestiones ya antes mencionadas en el punto anterior, por la naturaleza de los materiales y obviamente por las dimensiones de los espacios que mande el programa arquitectónico.

Los proyectos de construcción se caracterizan por su complejidad y por la diversidad de componentes, de naturaleza no estandarizada que involucran, la utilización de unidades modulares prefabricadas disminuye esto de manera significativa sin embargo, como diversos autores lo han señalado, no basta con hacer uso de la prefabricación sino que se deben de cuidar los siguientes aspectos también:

- Tener un diseño integral y completo en términos de detalle y estandarización,
- Especificaciones precisas sobre los componentes y subcomponentes de construcción,
- Evitar cambios en las secuencias de ensamble
- Evitar la necesidad de cortar piezas debido a la falta de una coordinación modular al momento de diseñar.
- Optimizar los recursos en la fase de diseño
- Completa y correcta planificación de la distribución del sitio.<sup>160</sup>

Debido a que la industria maneja elementos de medidas estandarizadas, la modulación en el caso del acero, a fin de abatir costos y lograr un AMM, debe realizarse en función de estas medidas; esto es, buscar dimensionar los espacios o bien, los elementos de la estructura, en concordancia con el largo de los "tramos" o secciones comerciales que por lo general son de 12 metros.

Para la obtención de un valor numérico que represente que tan adecuado es el módulo empleado, tomando como referencia las dimensiones del *material virgen*<sup>161</sup> se realizó la siguiente fórmula en Excel:

$$\text{Mod} = 1 - \left\{ \frac{\text{tpza} - ((\text{REDONDEAR.MENOS}(\frac{\text{tpza} - \text{tmod}}{\text{tmod}}, 0)) * \text{tmod}) + \text{tmod}}{\text{tpza}} \right\}$$

En donde

<sup>160</sup> SEARS, S.K., SEARS, G.A., CLOUGH R.H., (2008) citado en , L. ABARCA, F.M. SCHEUBLIN y A.J.D. LAMBERT (2009) *Construction Process Assessment or "Black Box Opener* Eindhoven University of Technology, Holanda: *Lifecycle Design of Buildings, Systems and Materials*, Reporte del CIB 323, actas de las conferencias 12-15 Junio de 2009. p. 131

<sup>161</sup> Se considera la dimensión del material virgen a la dimensión con la que un determinado material se solicita a la planta de fabricación. Ej. La dimensión de una loseta de cerámica, un tramo de varilla de acero, un plafón modular etc.

- Mod = porcentaje de modulación en donde 1 equivale a una modulación ideal y 0 equivale a una nula modulación
- Tpza= Dimensión del material virgen
- Tmod= Dimensión del módulo empleado

Nota: la fórmula es válida siempre que:  $\text{Tpza} \geq \text{Tmod} \geq 1$ .

De lo contrario si  $\text{Tmod} \geq \text{Tpza}$  solo deberá de hacerse previamente el ajuste empleando la siguiente fórmula, a fin de obtener un valor de Tmod dentro del rango y poder evaluar:

$$\text{Tmod} = \text{Tmodfr} / \text{tpza} - (\text{REDONDEAR.MENOS}(\frac{\text{Tmodfr}}{\text{Tpza}}, 0))$$

En donde:

- Tmodfr=Tamaño del modulo fuera del rango.

Una vez que se tienen las formulas se hizo la siguiente tabla:

**Tabla 16** Tabla para la evaluación del porcentaje de modulación

TABLA DE EVALUACIÓN DE % DE MODULACIÓN					
	tmod	tpza	%M rel.	% de inc.	%M pond.
1	x	y	$= 1 - \left( \frac{\text{tpza} - ((\text{REDONDEAR.MENOS}(\frac{\text{tpza} - \text{tmod}}{\text{tmod}}, 0)) * \text{tmod}) + \text{tmod}}{\text{tpza}} \right)$	z	$= \text{mrel} * \text{inc}$
2					
3					
4					
5					
TOTAL					=SUMA(H16:H20)

En donde

- Mrel= modulación relativa, por conjunto de componentes empleando el mismo módulo
- Inc= porcentaje de incidencia, el cual es obtenido en una tabla de cuantificación de los elementos que componen el sistema
- %M pond= es el porcentaje de de modulación ponderado con el porcentaje de incidencia

El empleo de esta tabla se verá con la realización de los casos de estudio expuestos más adelante.

### Fisonomía

La fisonomía de los subsistemas o componentes de construcción no afectará la capacidad de reaprovechamiento de los materiales siempre que la geometría de las uniones sea abierta y en caso de que la estética sea un factor que afecte su posible reutilización, que tenga una alta capacidad de renovación. En consecuencia a esto, la fisonomía de las partes de construcción serán estudiadas según:

- Sus uniones y
- Su capacidad de renovación.

### Uniones

La reutilización de los materiales de construcción depende en gran medida de las uniones que estos comparten unos con otros. Si se evita la utilización de ciertos elementos compuestos, como es el caso de las vigas enchapadas con concreto o ladrillo y mortero, ciertos accesorios y sujetadores, como clavos o adhesivos y selladores, se facilita la tarea de remover y recuperar materiales sin dañarlos (hecho que ya se comentó en el punto de "compatibilidad"). En este mismo sentido los sujetadores mecánicos y pegamentos despegables dan la oportunidad de una rápida y limpia recuperación de los materiales, incrementando su posible reutilización, al mismo tiempo que reducen la toxicidad e incluso también los costos iniciales de construcción y desconstrucción.



Ilustración 49 Ejemplo de módulo industrializado empleado para la envolvente de edificio Lloyd's Londres

En general, el tipo de uniones entre las partes de una edificación puede estar dado en cualquiera de las siguientes formas:

- **Por subcomponente:** Se presenta cuando la unión es meramente un elemento físico que puede catalogarse como subcomponente. Tal es el caso de: bisagras, correderas, cables. En este caso, lo más apropiado es tratar la unión mediante un análisis de los demás aspectos de producción, de accesibilidad y sistematización y no así lo de uniones por forma.
- **Por material:** Se presenta cuando la unión se da gracias a un material adhesivo, tal como lo es el caso de los pegamentos para tapices, alfombras etc. Para este caso, lo mejor es evaluar la unión a través del siguiente aspecto que se refiere a los materiales y que será explicado más adelante.
- **Por forma:** Bajo este modo de unión, las partes se sostienen únicamente gracias a la adaptación física

de los puntos de contacto entre ellas, sin que existan subcomponentes o materiales de por medio. En este caso resulta importante evaluar de acuerdo a la geometría de la unión su grado de "apertura" o "libertad".

- **Combinaciones:** En la mayoría de los edificios, las uniones se presentan como una combinación de material y forma, de subcomponente y forma, o de subcomponente, material y forma, por ello resulta importante separar: el objeto, la forma y el material, y evaluarlos según sus propios parámetros.

### Geometría de uniones

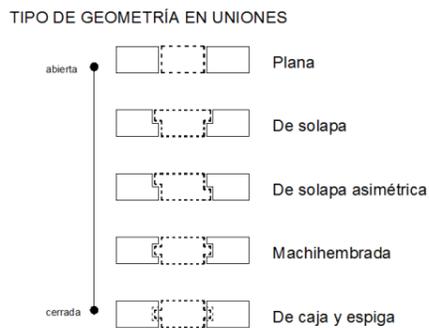
La geometría de los subcomponentes puede llegar a ser un impedimento o un facilitador para el momento de ensamblar o desensamblarlos dentro de un sistema, según el grado de libertad con el que haya sido diseñada.

Una geometría abierta, presenta el mayor grado de libertad, permite su fácil adaptación, no la hace privativa de uso en una sola forma o en un solo proyecto. Sin embargo, a menudo resulta difícil de estabilizar y en consecuencia requiere necesariamente de la ayuda de un material o un subcomponente para solidificar la unión.

Por el contrario, un elemento con geometría completamente cerrada difícilmente requerirá de un subcomponente o un material para que sea estabilizado, ya que la pura geometría de conexión hace que quede bien fijado. Esto tiene su contraparte negativa al momento de realizar tareas de además de que limita su reutilización en otros sistemas, haciéndolo privativo del sistema para el cual fue inicialmente empleado; pueden ser inclusive la causa de que necesiten ser transportados largas distancias a fin de encontrar un comprador, ocasionando que toda esta estrategia se traduzca en un alto gasto energético.

A manera de ejemplo, un ladrillo industrializado es un subcomponente que presenta una geometría abierta ya que todas sus caras son regulares y planas, esto hace que fácilmente se pueda adaptar a cualquier proyecto, sin embargo, debido a que no tiene puntos físicos de agarre es necesario aplicar cementante para su fijación, lo cual a menudo deteriora su capacidad de reutilización; por el contrario los cristales ensamblados en la manguetería presentan

un tipo de unión cerrada, lo cual podría hacer difícil separar cristal y manguetería sin dañarlos, aún que no se aplicara entre ellos algún tipo de sellador o pegamento, por ello, como ya se comentó, es importante emplear una sistematización efectiva al momento de diseñar a fin de que puedan ser reutilizable sin la necesidad de desarmarlos en subcomponentes.



**Ilustración 51** Tipo de geometría en las uniones

En lo que se refiere únicamente a las estructuras de acero, las uniones o conexiones entre los elementos, son una parte fundamental, puesto que a través de ellas se transfieren los esfuerzos de un elemento a otro (cortante o momento flexionante o ambos), por ello, para su selección deben de considerarse, además de su posibilidad de desensamblar, otras cuestiones como: su resistencia, los requerimientos de espacio y sus limitaciones, las disponibilidad de personal calificado para efectuarla, las condiciones de servicio y finalmente su costo.

En la mayoría de las estructuras de acero, las uniones se hacen a base de soldadura provocando que los elementos trabajen como una única pieza, haciendo irrelevante su geometría para efectos de desensamblar. Por otra parte en los casos de conexiones mecánicas, se considera que la geometría puede llegar a ser un impedimento para la reutilización de los elementos, en especial si se trata de partes muy complejas y poco usuales.



**Ilustración 52** Conexiones poco usuales en acero

Por otra parte, todas las conexiones en acero son la resultante de un cálculo de las fuerzas actuantes en ella y en los elementos que conectan, por ello su geometría y dimensiones difícilmente coinciden para ser reutilizables en otros proyectos.

En este sentido, podría decirse que la geometría de las conexiones mecánicas no es del todo favorable para la reutilización y en consecuencia será razonable asignar un valor de 0.75 a excepción de aquellas que por su complejidad haya que asignar un valor inferior.

### Capacidad de renovación

Además de los ciclos de vida: útil y técnico<sup>162</sup> que tienen los componentes de construcción, su capacidad de reutilización puede verse afectada por otros aspectos como lo son aquellos de carácter estético. En otras palabras, en ocasiones se da por entendido que si un producto todavía posee un periodo de vida útil y técnica considerable es todavía altamente re aprovechable, sin embargo en realidad estos dos factores no aseguran un reaprovechamiento del material, por la sencilla razón de no ser del agrado de un posible nuevo usuario.

Esto aplica principalmente para elementos visibles y más aún para aquellos elementos internos. Un estudio llevado a cabo por Sassi, revela que las cuestiones estéticas afectan la capacidad de reciclaje o reutilización de ciertos componentes o subcomponentes de construcción arrojando como conclusión que la capacidad de que se le pueda reaplicar un acabado a productos visibles para que sean reutilizados puede dar beneficios invaluable en términos de reutilización en componentes tales como: muebles de baño, que a menudo se desmantelan pero no se reutilizan debido a su apariencia de segunda mano. Por ejemplo, en el caso de la cancelería, es preferible utilizar elementos de aluminio natural, a utilizar elementos de aluminio anodizado, los cuales hacen difícil un tratamiento para su renovación.

A esta capacidad de que se le pueda reaplicar un acabado a los productos se le denominará en lo subsecuente, la capacidad de renovación.

En este sentido, un componente se verá afectado de manera gradual por la cuestión estética, según el tipo de interacción que tenga con los usuarios y de manera proporcional deberá de ser su capacidad de renovación a fin de lograr una estética adecuada.

Por tal motivo, el acero estructural no debiera verse afectado por este principio en absoluto.

<sup>162</sup> Estos términos se explican más detalladamente cuando se aborda el aspecto de estratificación adecuada.

### > 4.2.2 Logística de desensamble

Este concepto engloba el conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización y ejecución de las labores enfocadas al desensamble con la finalidad de lograr un reaprovechamiento.

La naturaleza y cantidad de trabajo requerido en las labores de desensamble dependerá en gran medida de si se han cuidado: la cantidad y el tipo de herramienta y equipo para llevar a cabo estas labores así como la cantidad de pasos necesarios para ejecutarlas. Este aspecto tratará por ende sobre la maniobrabilidad de los elementos en obra y fuera de obra, dentro de los siguientes dos grupos respectivamente:

- Labores de desensamble
- Planeación

#### >4.2.2.1 **Labores de desensamble**

La desconstrucción o desensamble de un subsistema se da por lo general en dos fases: En obra y fuera de obra

- En obra, o in situ, constituye la primer fase de desensamble, cuando un componente es reutilizable, puede darse únicamente esta fase de desensamble e inmediatamente proceder a su reutilización en la misma obra o en otra obra, lo cual resulta idóneo.
- Fuera de obra, constituye la segunda fase del desensamble, se presenta por lo general cuando un componente requiere de alguna reparación mayor, de una re manufactura o cuando su reaprovechamiento se da mediante el reciclaje de los materiales.

La eficacia y efectividad de las labores de desensamble en obra y fuera de obra se dan en función de las tres variables comentadas anteriormente:

- La herramienta requerida (en obra y fuera de obra)
- El equipo requerido (en obra y fuera de obra)
- La cantidad de pasos a seguir (la mano de obra en obra y fuera de obra).

Para un mejor análisis, se sugiere dividir las labores en las dos fases ya comentadas. Si bien ambas poseen los mismos sub

aspectos de evaluación, se le considerará más importante a la fase de trabajos en obra y con una ponderación secundaria se tratará a los trabajos fuera de obra. Esto es porque las labores que se hacen en obra incentivan la práctica del desensamble y el AMM en una mayor medida y a una escala local, por medio de la auto construcción- auto desconstrucción toda vez que las tareas *in situ*, el transporte y la gestión de estos subcomponentes se vuelven más sencillas.

A grandes rasgos, si un producto ha de ser vertido, los mayores costes se dan cuando no se lleva a cabo ningún tipo de desensamble, debido a la dificultad de maniobrar con un producto en sus dimensiones máximas. El costo disminuye a medida que se lleva a cabo un desensamble, sin embargo un desensamble muy laborioso resulta contraproducente.

La cantidad y el tipo de herramienta y equipo, así como los pasos para desensamblar o desmontar una estructura de acero dependerá, entre otras cuestiones del tipo de conexiones entre los miembros

#### Cantidad de Herramienta y equipo (en obra y fuera de obra)

##### En obra

Para llevar a cabo las labores de desensamble en obra bajo el menor tiempo posible es importante minimizar el número de herramienta y equipo requerido para remover los conectores mecánicos o soldadura, esto en función de que el cambio de una herramienta a otra toma tiempo.

##### Fuera de obra

Fuera de obra, no resulta tan perjudicial el incremento en el número de herramienta o equipo necesario para el desensamble de ciertos subcomponentes, sin embargo, sigue siendo ideal, mantener un nivel bajo de herramienta y equipo requerida.

#### Tipo de Herramienta y equipo (en obra y fuera de obra)

##### En obra

En obra, el tipo de herramienta y equipo requerido para el desensamble se aconseja que sea lo más sencillo posible, ya que puede ser difícil de identificar o conseguir herramientas o equipos especiales, más aún en regiones rurales o lejos de grandes ciudades.

El emplear tecnología de ensamblado compatible con las prácticas estándar de construcción evita la utilización de mano de obra y equipo especializado. El uso de herramientas y métodos sencillos, entre otras cuestiones, facilita el "auto-construcción/desconstrucción" que puede fomentar la reutilización local.

#### Fuera de obra

Fuera de obra, se puede requerir de herramienta o equipo un poco más especial para el desensamble de ciertos subcomponentes, sin embargo, sigue siendo ideal evitar depender de equipos especiales en la medida de lo posible.

#### Pasos para el desensamble (en obra y fuera de obra)

Este principio, en complemento con el principio sobre la adecuada estratificación, juega un papel importante en lograr que el desensamble sea una tarea económicamente factible. Bajo este subconcepto, se analizan la cantidad de pasos a seguir y por consiguiente la cantidad de partes en las que deba de ser desensamblado el subsistema, tanto en obra como fuera de obra, a fin de que sea reaprovechable bajo una estrategia previamente definida.

Es importante señalar que este aspecto se refiere a la cantidad de pasos que se necesitan para dejar partes maniobrables y componentes flexibles altamente re aprovechables evitando que estas tareas sobrepasen los costos y tiempos de un reemplazo o vertido, lo cual, para subsistemas complejos solo será posible mediante la adecuada *clústerización*<sup>163</sup>, en donde a la inversa de una prefabricación industrializada, se logre un desensamble industrializado, es decir, en las dos fases ya antes mencionadas. No se refiere entonces a la cantidad de partes en las que es posible desensamblar un componente, como si lo hace el aspecto de "separación de niveles de descomposición técnica".

La relación que tienen entre sí estos sub aspectos se describe en la Ilustración 55.

Para lograr aquello que se comentaba previamente, sobre la minimización de las partes y las uniones, sin sacrificar el amplio abanico de componentes de construcción, producto mismo de esta enorme combinación de subcomponentes, se requiere

<sup>163</sup> El concepto de **clústerización** se refiere a manejar los niveles de descomposición técnica de una edificación de manera ordenada agrupados en familias de ensambles que compartan CVT y CVU similares, y respondan a una función independiente

hacer una adecuada sistematización, o dicho de una mejor manera, una adecuada clústerización de los subcomponentes.

Las familias de ensambles que se creen, deben de integrarse dentro de la edificación a través de una adecuada secuencia de ensamble con la finalidad de que cada familia de subcomponentes trabaje como un componente, y requiera menos puntos de fijación. Esto también permitirá que las tareas de ensamble-desensamble se lleven a cabo cumpliendo más exigencias de tiempo costo y calidad. Esto mismo lo menciona Durmisevic(2002) al comentar que, hacer esto permite que se lleve a cabo el proceso en tres etapas: *in situ*, dentro de la propiedad y en la fábrica.

Todo esto simplifica el proceso de clasificación en el sitio y hace el potencial de reprocesamiento más atractivo debido a las cantidades considerables de artículos similares.

Se puede observar en el ejemplo del piso falso ConCore con soporte POSILOCK y alfombra Posi tile cómo los componentes del elemento piso cumplen con los requisitos que se mencionan antes. El elemento afecta únicamente a un estrato de la edificación, que es la planificación del espacio, (si se requiere hacer modificaciones a cualquier otro estrato no afecta al piso) y el componente de soporte es una agrupación de subcomponentes que tienen CVU y CVT similares ya que todos están hechos de acero. Los subcomponentes del componente "panel" pueden presentar CVU y CVT diferentes, sin embargo se cumple la regla de permitir un fácil desensamble de las partes con ciclos de vida más cortos, que sería en este caso la alfombra. Por otro lado, si tomamos como ejemplo la instalación de una loseta vinílica, se observa que por ser un elemento que se compone de un sólo componente hecho a base de un multimaterial, el elemento afecta tres estratos funcionales de la edificación (la estructura, los servicios y la planificación del espacio).



Ilustración 53 Ejemplo de piso falso colocado en SITE de edificio corporativo

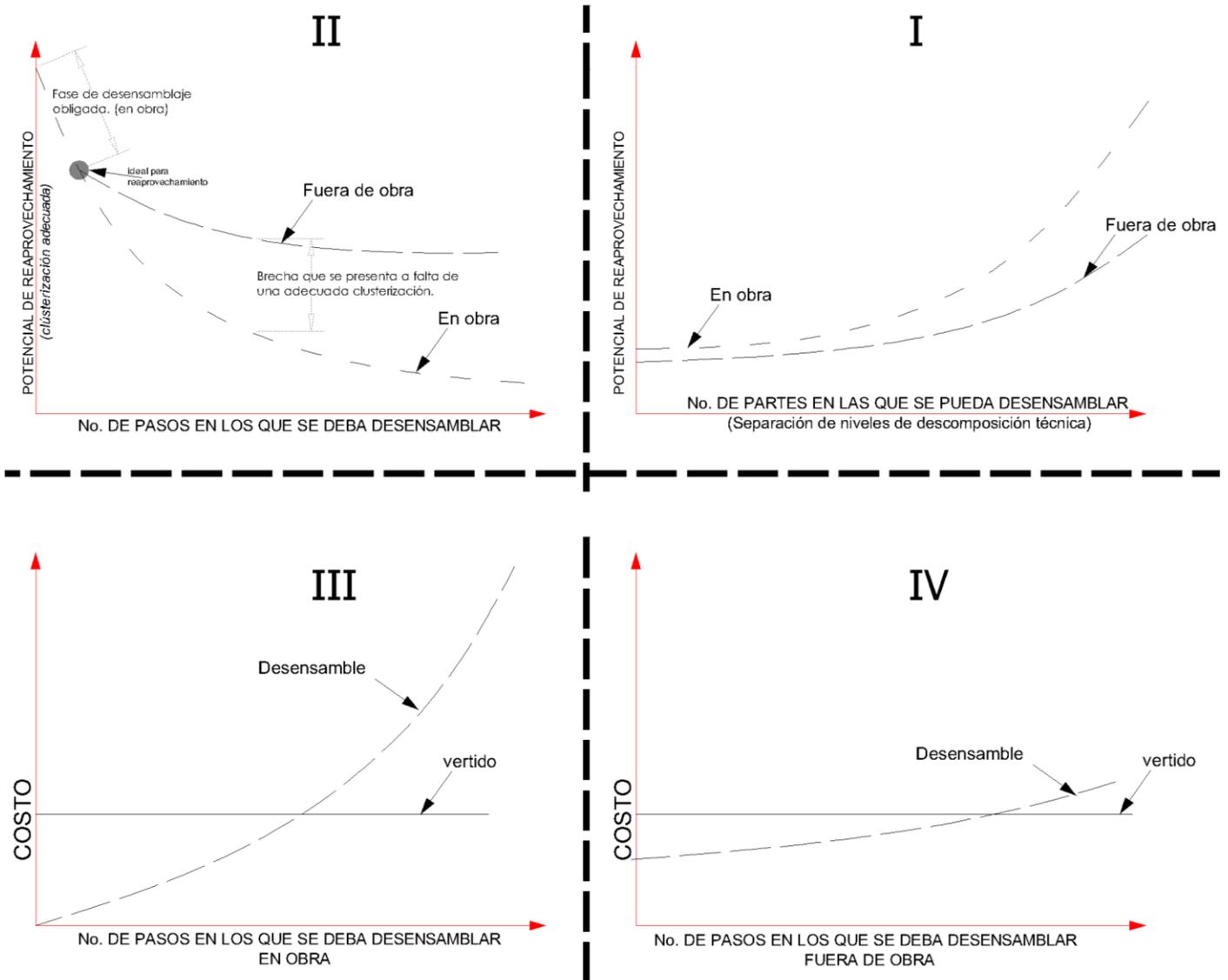


Ilustración 54 Relación Pasos de desensamblaje en obra y fuera de obra en función del costo

Cantidad de pasos en obra

Los costos del reaprovechamiento de un sistema se pueden minimizar si se le planea para ser desensamblado en pocos pasos. Sin embargo, cuando esto no es posible por sus dimensiones o complejidad, se deben priorizar las labores en obra, minimizando ahí los pasos para el desensamblaje. Esto permitirá que los subsistemas sigan una estrategia de reaprovechamiento (desensamblaje y: mantenimiento, reutilización, reciclaje etc.) mediante su desensamblaje con una mínima cantidad de piezas en obra.

Como consecuencia, los puntos de fijación entre dos o más partes de una edificación deberán de ser los menos, ya que la mayor parte del tiempo requerido en el desensamblaje consiste en el retiro de *sujetadores*, subcomponentes que sirven de unión entre dos o más subcomponentes.

Evidentemente se debe buscar un equilibrio de este factor con lograr también la minimización de equipo y herramienta requerida tal y como ya se mencionaba en puntos anteriores.

### Cantidad de pasos fuera de obra

Similar a lo que sucede con la cantidad y tipo de herramienta y equipo, las labores de desensamble fuera de obra para subsistemas grandes, o muy complejos, pueden permitirse un mayor número de pasos a fin de poder lograr un desensamble total. Sin embargo en la medida en que se minimicen estos pasos, el proceso de reaprovechamiento tendrá mayores beneficios y será más atractivo. Los subsistemas complejos, deben de permitir a través de la adecuada clústerización, que en la fase de desensamble fuera de obra, se logre un desensamble de la mayor cantidad de subcomponentes posibles.

#### **>4.2.2.2 Planeación**

Una planeación para el desensamble se considerará completa si se tiene accesibilidad a las partes a desensamblar y si existe un proyecto definido en conjunto con información sobre los componentes. Esta información puede estar como un anexo o en el componente mismo

El proyecto y la información podrán estar especificados dentro de un *modelo de información de construcción*<sup>164</sup>. El modelo de información del edificio abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los componentes del edificio.

En este aspecto se comentaran las cuestiones relacionadas con:

- El proyecto
- La información
- La accesibilidad

### Proyecto

Para llevar a cabo una desconstrucción adecuada es recomendable proveer a manera de planos para la desconstrucción y mantenimiento, un registro incluyendo la identificación de los puntos de desensamble del componente o material.

<sup>164</sup> En la actualidad el **modelado de información de construcción** (BIM, Building Information Modeling), también llamado modelado de información para la edificación, surge como una herramienta que mediante software dinámico de modelado en tres dimensiones, nos permite generar y gestionar información de un edificio durante su ciclo de vida para lograr un proyecto que emplee menos recursos y menos tiempo en su diseño y construcción.

Para el caso de estructuras en acero, se debe anexar información a los planos de anclas, de fabricación y de montaje, o bien elaborar por separado, planos con información para el desensamble que incluyan esquemas con las propiedades estructurales clave, la localización del cableado, detalles de las conexiones y estrategias de desconstrucción. Los planos de montaje son de vital importancia pues en ellos se indicará la posición de los diversos elementos que componen la estructura, con indicaciones precisas para la elaboración de las conexiones que servirán para el desensamble. Tanto en los planos de fabricación y de montaje como en los dibujos y esquemas de las memorias de cálculo, tal y como lo señalan las NTC-EM, deben indicarse las soldaduras por medio de símbolos que representen claramente, y sin ambigüedades, su posición, dimensiones, características, preparaciones en el metal base, etc. complementando, esos símbolos cuando sea necesario con notas en el plano. En todos los casos deben indicarse, con toda claridad, los remaches, tornillos o soldaduras que se colocarán en el taller y aquellos que deben instalarse en la obra de manera tal que sea posible llevar a cabo un desensamble seguro.

Por otra parte, también es importante contemplar cuestiones logísticas como la planeación de sitios de descarga de materiales o retiro de los mismos, proporcionando un medio para el manejo de los componentes durante el desmontaje ya que durante esta tarea se puede requerir puntos de apoyo para equipos de elevación o para dispositivos temporales.

Los dibujos de taller se harán siguiendo la práctica más moderna y en su elaboración se tendrán en cuenta los factores de rapidez y economía en fabricación y montaje que sean significativos en cada caso.

### Información

Todo lo anterior deberá estar complementado con información específica de: elementos, componentes y materiales, sobre la vida de uso esperada de cada uno de ellos, su peso, sitio, año y compañía de producción, recomendaciones para su manipulación y su estrategia de recuperación, incluyendo por consiguiente una planeación para el uso futuro de las partes, especificando los elementos de construcción, componentes, subcomponentes y materiales que son recuperables y que pueden ser reutilizados o que tienen cabida dentro de

cualquier estrategia de gestión de residuos (reparación, restauración, reutilización, canibalización o reciclaje).

Toda esta información puede estar adjunta al material o componente de construcción, a través de una identificación automática que puede darse mediante una especie de etiquetado, o marcado de piezas.

Un ejemplo de esto está presente actualmente en la industria del plástico que ya cuenta con una simbología para la identificación del material constitutivo y que se rige por la norma mexicana NMX-E-232-SCFI-1999 que define la nomenclatura de acuerdo al tipo de plásticos en función, entre otras cosas, de su posible reciclaje.

Esta técnica de marcar las piezas es una tarea de la cual se tienen evidencias se practicó desde los romanos, pues se han encontrado "sellos" sobre bloques de piedra, que han permitido a arqueólogos interesados en las ruinas, poder identificar, entre otras cuestiones, los sitios de donde se traían. En la industria de la construcción, muchas veces por la gran "improvisación" con la que se llevan a cabo gran cantidad de obras, esta práctica se ha dejado de lado, cosa que no ocurre en otras industrias como la automotriz y de aparatos eléctricos que suelen incluir estampados sobre partes plásticas o metálicas a través de códigos de barras u otros métodos, que permiten almacenar información que en un futuro pueda ser de utilidad. La identificación automática implica el hecho de que un componente, como bien podría ser un elemento constructivo, sea estampado, etiquetado, o rotulado con un dispositivo de codificación que pueda ser escaneado y leído automáticamente.

Crowther Philip (2007)<sup>165</sup> enfatiza la importancia del desarrollo teórico y de aplicación práctica de las nuevas tecnologías en el diseño para el desensamble generando un "etiquetado" apropiado y explícito a través de la identificación mediante radiofrecuencias (RFID) en cada uno de los ensambles y componentes de construcción de manera que se pueda ver todo su ciclo de vida y con ello llevar a cabo una gestión adecuada de los mismos. La RFID es en la actualidad una de

las tecnología que presenta el mayor crecimiento dentro de la división de las tecnologías de la información y las industrias de identificación automática y captura de datos (AIDC).

La RFID permite acceder remotamente desde una serie de lectores a dispositivos, etiquetas o tags RFID que se sitúan anexos o unidos a los elementos o bienes de los cuales se desea hacer un seguimiento específico. A partir de estas etiquetas o tags RFID ubicadas en los bienes, desde los lectores, se puede llegar a los EPC (códigos electrónico de producto) los cuales contienen la información que posteriormente será transferida hacia una computadora o una base de datos con la finalidad de que el usuario final pueda ver información específica que haya sido solicitada.

En un sistema de RFID existen tres elementos primordiales. Las etiquetas, que se deben de colocar en cada uno de los elementos a los que se les quiera llevar un seguimiento. Estas etiquetas pueden ser pasivas o activas, las primeras se utilizan por lo regular para productos más extendidos, de menor valor, por su menor coste, constan de una antena y mediante el acoplamiento inductivo son capaces de recibir pasivamente la energía que pasa el lector y de esta forma pueden emitir la información que reside en estas etiquetas. Tienen un alcance muy limitado de uno a tres metros; por otro lado, las etiquetas activas tienen una batería incluida que les permite tener una vida útil de varios años y permite emitir frecuencias a decenas de metros (de 10 a 30 metros). Otro elemento de la RFID son los lectores que pueden capturar la información de las etiquetas y progresarla digitalmente hacia el tercer elemento, que es el middleware o pieza de software que es capaz de tomar esa información y pasarla a los sistemas de gestión de todo el sistema.

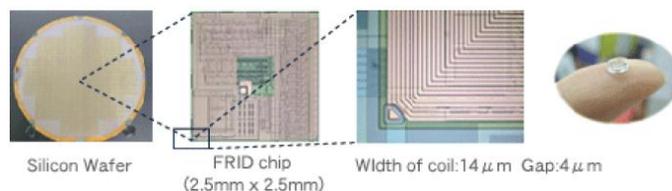


Ilustración 56 Dimensiones de un tag de RFID. Fuente: LARAN RFID (2005)

Esta tecnología fue empleada desde la segunda guerra mundial por los británicos para la identificación de sus propios aviones y no ser objeto de lo que se conocía como "el fuego

<sup>165</sup> CROWTHER, P., et al (2007) *Design for disassembly and recycling-using radio frequency identification (RFID) technology to facilitate whole life actions for sustainable construction*. República Checa: Actas de la conferencia internacional: CESB07 (Central Europe towards Sustainable Building) p.692-701 [versión digital]Extraído el 28 de febrero del 2011 del sitio web: <http://www.baufachinformation.de/aufsatz.jsp?url=2008051000327>

amigo". La Ilustración 56 muestra las diminutas dimensiones que pueden tener los tags de RFID. LARAN RFID (2005)<sup>166</sup>

### Accesibilidad

Como segundo aspecto del área de planeación se presenta la Accesibilidad. Un subsistema o componente de construcción tendrá una buena accesibilidad si son claros los puntos de desensamble, es seguro llegar a ellos y existe el suficiente espacio para acceder de manera cómoda. En este sentido, vale la pena dividir tres subaspectos que son: Claridad, seguridad y Holgura.

### Claridad

Es importante, hacer obvios los puntos de acceso, en especial para las partes más valiosas. Dejar a simple vista los puntos en los que se tenga que intervenir para realizar tareas de desensamble reduce los tiempos y costos.

### Seguridad

Además de proveer un acceso fácil es importante tener en cuenta la seguridad de los trabajadores durante las labores de desensamble, esto implica que en la medida de lo posible, el desensamble se pueda llevar a cabo de forma manual sin equipo de seguridad especial que pueda en un momento dado entorpecer las labores de desensamble.

### Holgura

Finalmente, proporcionar tolerancias realistas que permitan el movimiento durante el desmontaje trae como consecuencia una reducción en el número de maniobras difíciles que harán del proceso manual de desensamble una tarea complicada.

Es conveniente ubicar las partes que no sea posible reciclar en un área que pueda ser rápidamente removida con la finalidad de acelerar el desensamble.

En la industria, en muchas ocasiones los productos tienen partes particularmente valiosas. Desafortunadamente este tipo de elementos valiosos se encuentran a menudo inmersos dentro del

producto de tal forma que su acceso no es fácil. En muchos casos, una vez que las partes poco valiosas han sido eliminadas el valor de reciclaje que pueden tener las partes valiosas ha sido cancelado por el desmontaje costoso que fue necesario para acceder a ellos

En especial cuando un elemento estructural esté expuesto a los agentes atmosféricos, todas las partes que lo componen deben ser accesibles de manera que puedan limpiarse y pintarse.



Ilustración 57 Ejemplos de situaciones en las que no se ha tomado en cuenta el equipo de seguridad o la holgura para llevar a cabo labores de mantenimiento o desensamble.

## >4.3 Sincronización y planeación de las tareas para la EPyDAMM

Es importante hacer mención de que, además de diseñar correctamente, empleando cada uno de estos principios, la sincronización para tomar las decisiones de diseño es fundamental para obtener como resultado un buen proyecto. Decisiones tomadas apresuradamente pueden limitar opciones de diseño y por otro lado decisiones tardías pueden resultar en trabajo extra y desaliento para quien esté involucrado en el proyecto. Pulaski y Horman (2003b) señalan que cuestiones de constructibilidad son dirigidas de manera tardía en los proyectos entre el 31% y 70% de las veces.

Con la finalidad de profundizar un poco más en el momento y la procedencia de las decisiones de desconstrucción en el diseño, se presentan las siguientes matrices de aplicación (Ilustración 58 e Ilustración 59) extraídas del artículo "Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability"<sup>167</sup>, las

<sup>166</sup> LARAN RFID (2005) A basic introduction to RFID technology and its use in the supply chain. Publicado en el sitio web del RFID Journal y extraído el 28 de julio del 2011 del sitio: <http://www.rfidjournal.com/search?q=introduction+rfid&search-form=search>

<sup>167</sup> PULSAKI, M et al, (s.f.) Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability, extraído del US green building council el día 08 de diciembre del 2010 de: [http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204\\_Pulaski\\_PA466.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204_Pulaski_PA466.pdf)

cuales, según señala este mismo documento, fueron realizadas con información obtenida de encuestas dirigidas a profesionistas de la industria entre los que se encuentran: arquitectos, ingenieros civiles, contratistas, subcontratistas entre otros, a quienes se les pidió que identificaran que equipo tenía información valiosa que pudiera contribuir en cada principio de diseño, y que identificaran cuando era adecuado llevar a cabo cada principio.

El propósito de las matrices de aplicación es guiar al equipo de trabajo en la aplicación y uso de los principios del diseño para la desconstrucción en el momento adecuado durante el transcurso del proyecto. La aplicación de un principio de diseño, a una fase específica del proyecto es señalado sombreando donde ambas entrecruzan. El sombreado más oscuro representa una mayor relevancia. La Ilustración 58 identifica los participantes en el proyecto que tienen la habilidad de estimular un cierto principio de diseño. La Ilustración 59 identifica el tiempo adecuado para realizar dicho principio.

Las matrices de aplicación deben de utilizarse conjuntamente para poder determinar que miembros del equipo de construcción deben de ser considerados en las decisiones de diseño en cada una de las fases del proyecto para maximizar su contribución a los principios de diseño mencionados.

Según el mismo documento de donde se extrajeron las matrices, nos menciona que posteriores análisis de los resultados de dichas encuestas reflejaron lo siguiente:

- El momento más adecuado para llevar a cabo la mayoría de los principios de desconstrucción es durante el diseño esquemático y 35% durante su desarrollo. (esto queda reflejado en el hecho de que la mayoría de los principios que fueron analizados previamente corresponden al aspecto de planeación)
- Se percibe que los arquitectos son los que tienen la mayor influencia para dar entrada en el diseño a los principios de desconstrucción, seguidos por los ingenieros.
- Los dos principales principios de diseño fueron "diseñar basándose en la prefabricación, preensamblaje y la modulación, y la minimización de los componentes y materiales de construcción. Estos dos principios tienen las más altas valoraciones globales de la encuesta. Se encuentra que

deben de ser considerados a lo largo de casi todo el proyecto y por casi todos los participantes. (si bien estos dos aspectos no son los que mas frecuentemente fueron citados por expertos en el análisis previo que se realizó sobre los principios de diseño, si se encuentran entre los primeros cinco de la A partir de esta recopilación y catalogación, en la Ilustración 26 se expone una comparativa de la mención que tienen los principios de la Tabla 9. ).

	Propietarios	Arquitectos	Calculistas	Contratista principal	Subcontratistas	Fabricantes	Proveedores
<b>PRINCIPIOS DE DISEÑO</b>							
Diseñar basándose en la prefabricación, preensamblaje y la modulación.							
Simplificar y estandarizar las conexiones							
Separar los sistemas y componentes de la construcción.							
Considerar la seguridad de los trabajadores de obra							
Minimizar los componentes y materiales de construcción.							
Usar conexiones mecánicas							
Considerar logística de desconstrucción							
Reducir elementos complejos							
Diseñar con materiales que se puedan reutilizar o reciclar							
Diseñar con principios de flexibilidad y adaptabilidad							

Muy relevantes  
 Poco relevantes

Ilustración 58. Matriz de aplicación para miembros del equipo. Fuente: Design for Deconstruction: material Reuse and constructability

	Desarrollo del programa arq. anteproyecto	35% del proyecto de diseño	70% del proyecto de diseño	100% del proyecto de diseño	Proyecto ejecutivo	Construcción
<b>PRINCIPIOS DE DISEÑO</b>						
Diseñar basándose en la prefabricación, preensamblaje y la modulación.						
Simplificar y estandarizar las conexiones						
Separar los sistemas y componentes de la construcción.						
Considerar la seguridad de los trabajadores de obra						
Minimizar los componentes y materiales de construcción.						
Usar conexiones mecánicas						
Considerar logística de desconstrucción						
Reducir elementos complejos						
Diseñar con materiales que se puedan reutilizar o reciclar						
Diseñar con principios de flexibilidad y adaptabilidad						

Muy relevantes  
 Poco relevantes

Ilustración 59. Matriz de aplicación para fases de diseño. Fuente: Design for Deconstruction: material Reuse and constructability

## >4.4 Notas finales

Como se podrá notar, existen aspectos que afectan en la capacidad de aprovechamiento de los elementos o componentes de construcción que no han sido incluidos en el diagrama, ni en estos puntos, de manera explícita, como son: La maniobrabilidad (que implicaría evaluar el peso y el volumen de ciertas partes) o el de la agrupación de subcomponentes en componentes y estos en elementos de manera adecuada, para permitir un desensamble a la inversa de un proceso de prefabricación altamente industrializado y también llamado *clústerización*. La razón de que no se mencionen de manera explícita es que estos conceptos se entre mezclan y quedan en su totalidad cubiertos con otros como: Herramienta y equipo para la logística de desensamble en obra y fuera de obra y la Adecuada estratificación respectivamente.

Por otra parte, el tipo de secuencia de pasos para el ensamble de elementos de construcción crea lazos que los hacen dependientes de otros al momento que estos van formando parte de la edificación. Un desmontaje adecuado será aquel que se lleve a cabo de manera paralela y no secuencial ya que esto permitirá que los componentes o materiales puedan ser removidos sin afectar otros componentes o materiales. De lo

contrario, las dependencias entre los elementos dificultan la remoción o remodelación de otros, y esto también queda incluido al referir los subaspectos comentados en el tema de estratificación adecuada y en la logística para el desensamble.

## >4.5 Conclusiones

La mayoría de los edificios sirven a lo largo de prolongados periodos de tiempo transformándose , y generalmente cambian en el transcurso de este tiempo. Esto se traduce en una serie de edificios diferentes que a través del tiempo pueden o no compartir ciertas partes físicas. Por lo general la estructura del edificio se mantiene mientras que componentes internos que conforman los espacios son removidos y reemplazados o los servicios son actualizados.

Los criterios presentados a lo largo de este capítulo son un acercamiento a cuestiones relevantes para la planeación de proyectos de construcción de los que se quiera obtener un Aprovechamiento Maximizado de Materiales.

## CONTENIDO DE CAPITULO V

### • **MODELO DE EVALUACIÓN PROPUESTO**

#### Aplicación a dos casos de estudio

#### 5.1 Introducción

#### 5.2 Estado del arte – Métodos de evaluación -

5.2.1 Propuesta Thormark

5.2.2 Propuesta Sassi

5.2.3 Método Durmisevic

#### 5.3 Estructura del modelo de evaluación propuesto

5.3.1 Construcción de la interfaz gráfica de usuario

#### 5.4 Ejemplos de aplicación

##### 5.4.1 Caso de estudio 1

5.4.1.1 Ubicación

5.4.1.2 Planos de proyecto

5.4.1.3 Cuantificación de materiales

5.4.1.4 Matriz de valorización de los elementos  
de construcción de caso de estudio uno

5.4.1.5 Resultado de evaluación

##### 5.4.2 Caso de estudio 2

5.4.2.1 Ubicación

5.4.2.2 Planos de proyecto

5.4.2.3 Imágenes de proceso constructivo de  
caso de estudio dos

5.4.2.4 Cuantificación de materiales

5.4.2.5 Matriz de valorización de los elementos  
de construcción de caso de estudio dos

5.4.2.6 Resultado de evaluación

##### 5.4.3 Interpretación general de resultados

## CAPÍTULO V

### MODELO DE EVALUACIÓN PROPUESTO

#### *Aplicación a dos casos de estudio*

..." Mide lo que sea medible y haz medible lo que no lo sea"

(Galileo Galilei)

#### > 5.1 Introducción

A continuación se explica cómo se ha construido el modelo de evaluación mediante el cual, a través de una serie de datos que se ingresen como variables independientes, se obtendrá un coeficiente de aprovechamiento de materiales, tomando como referencia los principios de planeación y diseño propuestos en el capítulo IV y las características propias del montaje y desmontaje de las estructuras de acero, así como de su potencial de reutilización o reciclaje.

Antes de entrar en la explicación de dicho modelo se presentará el estado del arte en materia de métodos de evaluación sobre este tema.

#### > 5.2 Estado del arte – Métodos de evaluación -

Pocos han sido los intentos para evaluar la capacidad de desconstrucción o transformación que tienen los edificios y sus componentes. Un modelo desarrollado para medir la flexibilidad de las instalaciones es el Flexis Modal de Rob Gerards, el cual estaba dirigido a aspectos como flexibilidad técnica y espacial.<sup>168</sup> Otro fue el de Elma y Sanja Durmisevic, mismo que se enfocaba en evaluar la transformación espacial en relación con los aspectos técnicos como: claros de construcción, la ubicación de la red principal de instalaciones y la capacidad de reubicar muros divisorios.<sup>169</sup> A continuación se presenta una breve descripción de los métodos que se han enfocado exclusivamente al tema de estudio del presente trabajo.

#### > 5.2.1 Propuesta Thormark

**Thormark** (ver ANEXO 12) hace un bosquejo de un método para evaluar la facilidad de desensamble de una construcción a partir de una serie de puntajes que se le van asignando a cuestiones importantes.

Para tal caso, las cuestiones sugeridas a evaluar son:

- Riesgos en el ambiente de trabajo,
- Requerimientos de tiempo
- Herramienta y equipo
- Acceso a las uniones
- Daño causado al material por el proceso de desmantelamiento

Sin embargo, este esquema deja sin resolver los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cómo definir los criterios para cada evaluación individual?
- ¿Debe cumplir la construcción con un nivel mínimo para cada evaluación individual?
- ¿Deben ser comparados entre sí los parámetros, y de ser así, como deberá de ser esta comparación?

A continuación se expone el esquema que propone la autora:

<sup>168</sup> GARAEDTS (1995), citado en DURMISEVIC, E. *Op cit.* p. 206

<sup>169</sup> ZOET (2000), citado en DURMISEVIC, E. *Op cit.* p. 206

Tabla 17 Esquema de método de evaluación para la desconstrucción<sup>170</sup>

Objetivo del desensamble	Parámetro evaluado	Evaluación	Puntaje
Reutilización	Riesgos en el ambiente de trabajo	Grande	1
		Pequeño	2
		Ninguno	3
	Tiempo requerido	Mucho	1
		Medio	2
		Corto	3
	Herramientas y equipo	Especiales	1
		Simples	2
		Manuales	3
	Acceso a las uniones	Muy poco	1
		Aceptable	2
		Bueno	3
	Daño causado al material por el proceso de desmantelamiento	Mucho	1
		Aceptable	2
		Muy poco	3
Reciclaje del material	Parámetros relevantes		
Combustión	Parámetros relevantes		

En conclusión, esta propuesta, a pesar de lo resumida y sencilla que resulta, es gracias a ella que se dan los primeros pasos dirigidos a establecer como podrían ser considerados comparativamente cuestiones para evaluar el tema aquí presente y que tienen que ver con la reutilización o reciclaje de los materiales que son empleados en la edificación.

### > 5.2.2 Propuesta Sassi

**Sassi** (ver ANEXO 13), en su estudio de métodos actuales de construcción que permiten un desmantelamiento de las estructuras de construcción y su clasificación de acuerdo con su capacidad de reutilización o reciclaje, selecciona sesenta métodos y productos de construcción que se utilizan comúnmente en la construcción en el reino unido, y analiza su composición, sistema de instalación y durabilidad en relación con el uso pretendido y con el proceso de desmantelamiento.

Los métodos y productos de construcción se agruparon por tipos de elementos de construcción, incluyendo: Sistemas estructurales, construcción de muros exteriores, terminados de losas, muros divisorios, elementos secundarios, plafones, pisos y terminados en muros. Los métodos y productos de construcción fueron posteriormente evaluados en términos de su

adaptabilidad para ser reutilizados, reciclados a nivel primario o secundario, usando un conjunto de criterios derivados de una investigación previa de las directrices que deben seguirse en el diseño para el desmantelamiento y el reciclaje.

Las directrices y principios de diseño de edificios para su desmantelamiento, reutilización o reciclaje empleadas en esta propuesta, se centran en dos áreas principales:

1. El proceso de remover todos los elementos de la edificación y materiales de la estructura del edificio.
  - a. Información
  - b. Acceso,
  - c. Proceso de desmantelamiento,
  - d. Riesgos, y
  - e. Tiempo.
  
2. Los requerimientos para el reprocesamiento de los elementos de construcción y materiales para hacer posible su reintegración en un nuevo edificio.
  - a. Reprocesamiento
  - b. riesgos
  - c. Durabilidad
  - d. Información

Los criterios derivados de estas pautas se enlistan en la Tabla 18<sup>171</sup> y fueron empleados para evaluar materiales y elementos y calcular así una ponderación que a su vez permite hacer comparaciones.

<sup>170</sup> THORMARK, C. (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología. p.. 40

<sup>171</sup> SASSI, P . (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment. p. 2 y 3

Tabla 18 Criterios de idoneidad para el desmantelamiento, reutilización o reciclaje.

Criterios	Puntaje Máximo	Puntaje Mínimo
<b>Criterios idoneos para el Desmantelamiento General</b>		
Métodos de fijación para la instalación	8 Plena accesibilidad a las uniones/ fijaciones simples / tipo de equipo requerido: estándar	2 La instalación imposibilita el desmantelamiento
Acceso y maniobrabilidad de los elementos de construcción	4 Acceso directo para una persona con equipo simple	1 Asesoría de especialistas y maquinaria requerida
Peligros (Tóxicos, estructurales y de manejo)	4 ninguno	1 Precauciones especiales / equipo especial
Tiempo requerido para el desmantelamiento de los elementos	4 Bajo. Se puede llevar a cabo a la par de otras actividades	1 Muy alto, depende de otras que otras actividades se lleven a cabo para que sea posible el desmantelamiento
Información requerida para desmantelar un elemento	4 Ninguno. Instalación estándar	1 Desmantelamiento riesgoso sin una guía.
<b>Criterios de idoneidad para la reutilización de un elemento</b>		
Requerimientos de reprocesamiento para hacer posible una reutilización	8 Mínimos, chequeo de fallas y limpieza	2 Imposible de reutilizarse
Durabilidad	8 Durable, sin elementos o uniones frágiles	2 Desmantelamiento riesgoso sin una guía.
Componentes y subcomponentes	8 Un solo elemento / sin separaciones	2 Maquinaria especializada para la separación
Peligros	4 Ninguno	1 Alto riesgo / precauciones especiales requeridas
Requerimientos para cumplir con el rendimiento	4 Suficiente una evaluación visual	1 Requiere una evaluación profunda
Información requerida para la reinstalación	4 No requerida. Instalación estándar	1 Información esencial para evitar riesgos en la instalación
Arreglos requeridos para la reinstalación	4 Fijaciones intercambiables simples	1 Fijaciones especiales no intercambiables
<b>Criterios adicionales de idoneidad para la reutilización como nuevo</b>		
Requerimientos para asegurar los estándares estéticos	4 Fácilmente alcanzable, que estéticamente esté como nuevo	1 Inalcanzable ,que estéticamente esté como nuevo
<b>Criterios de idoneidad para un reciclaje primario o secundario. (evaluados de forma independiente)</b>		
Requerimientos para el reprocesamiento	8 Mínima preparación antes de su reprocesado	2 Imposible de reciclar a nivel primario o secundario
Durabilidad	4 Muy durable	1 Poco durable
Peligros	4 Ninguno adicional	1 Protección especial requerida

Los criterios están agrupados de tal manera que permiten evaluar la posibilidad de reutilización o reciclaje de manera independiente cada elemento. También están divididos entre los que evalúan la capacidad técnica de los materiales a ser recuperados y los que evalúan aspectos que tienen que ver con el costo de la recuperación de los materiales. A los criterios que evalúan la capacidad técnica se les dio un mayor peso que aquellos que se refieren al costo toda vez que el costo total dependerá de cuestiones distintas incluyendo la ubicación del proyecto y costos de mano de obra etc. mientras que la capacidad técnica de desmantelamiento es dependiente del diseño de las edificaciones.

Estos criterios son rankeados del cuatro (más adecuado) al uno (menos adecuado) para los criterios que de alguna manera están ligados a los costos, y del ocho al dos para los criterios vinculados con principios de mayor peso.

La Ilustración 60 muestra un caso en donde se ha evaluado diversos métodos para la colocación de acabados en pisos y su respectiva idoneidad para que posteriormente sean reutilizados como producto de segunda mano, como nuevos, reciclados a nivel primario o secundario.

## PUNTAJE DE IDONEIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN O RECICLAMIENTO PARA ACABADOS DE PISOS

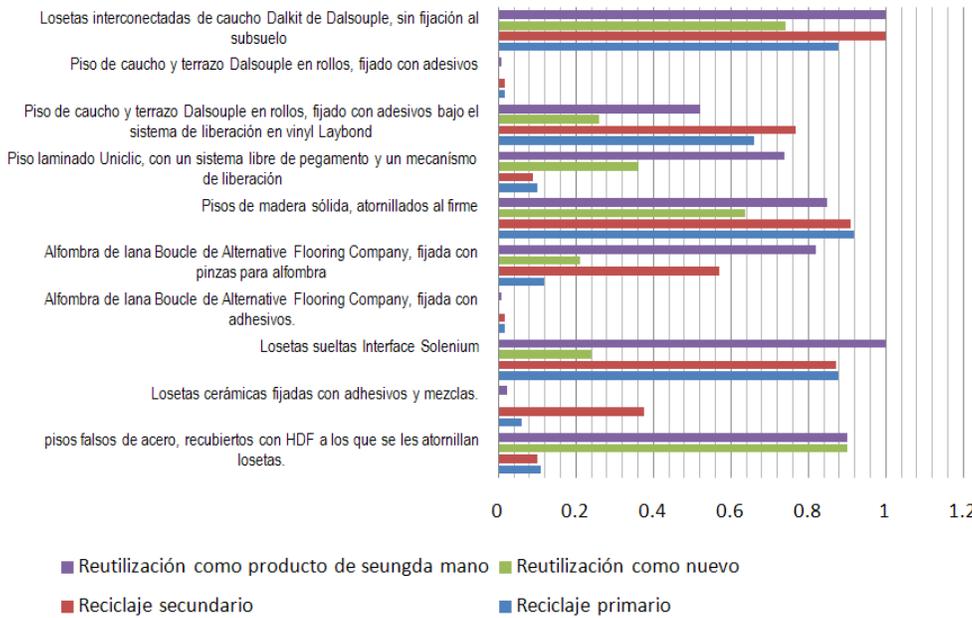


Ilustración 60 Ejemplo de resultados tras utilizar el Método de la Dra. Sassi

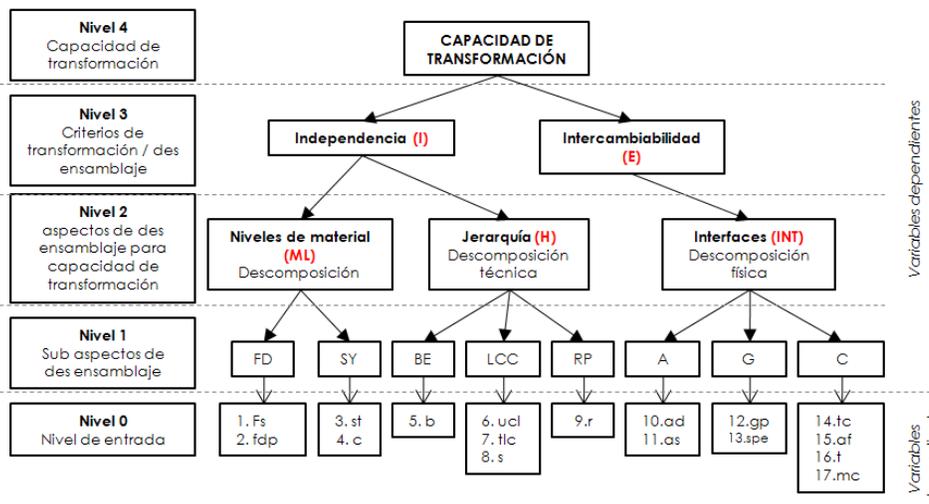


Ilustración 61 esquema conceptual del soporte para las decisiones del modelo de evaluación

**En conclusión** sobre esta propuesta, llevada a cabo por Sassi, podemos señalar que a pesar de, o en consecuencia de, que el proceso de evaluación resulta muy práctico y fácil de aplicar, es también muy general y poco preciso. Un ejemplo de esto se da al momento de querer determinar los criterios, pues los parámetros de referencia son el máximo y el mínimo únicamente, dejando un tanto confusa la designación de casos dentro de este intervalo. Es por ello que, como acercamiento rápido de las cuestiones a evaluar resulta provechoso pues no

requiere de gran tiempo, y la mayoría de las variables están pensadas para ser evaluadas a partir de un examen cualitativo, lo que brinda a uno la oportunidad de tener un panorama general sobre cuestiones a considerar para un aprovechamiento maximizado de los materiales.

### > 5.2.3 Método Durmisevic

Durmisevic (ver ANEXO 14 ) en su libro "Transformable Building Structures" propone un modelo para evaluar la capacidad de transformación de una edificación (TC por sus siglas en inglés Transformation Capacity), el cual busca representar todos los factores que tienen un determinado impacto en la capacidad de transformación de un edificio en un solo número.

El modelo se basa en ocho aspectos de deconstrucción y sus sub-aspectos. La influencia que tiene cada aspecto en la TC ha sido considerada en el modelo a partir de factores de peso (weights) para cada relación entre las variables del modelo, y está basado en datos borrosos (fuzzy data) representados por variables lingüísticas, usando lógica difusa (fuzzy logic).

Este modelo fue desarrollado usando información obtenida de edificaciones y

tiene como objetivo evaluar la capacidad de transformación de una estructura, con base en los criterios de diseño de: **Independencia e intercambiabilidad** de los elementos de construcción.

El modelo distingue entre tres áreas de configuración del diseño (material, técnico y de descomposición física), pero pesar de que estas áreas pueden ser diferenciadas, no pueden ni deben ser tratadas de manera separada.

Por ejemplo, un material se propone solo si es posible una descomposición técnica. Una descomposición técnica propuesta es válida solo si se puede especificar una interfaz viable.

El modelo con sus variables dependientes e independientes y sus relaciones, tiene una estructura jerárquica, que puede ser descrita a través de cuatro niveles de dependencias, las cuales se exponen diagrama de la Ilustración 61.

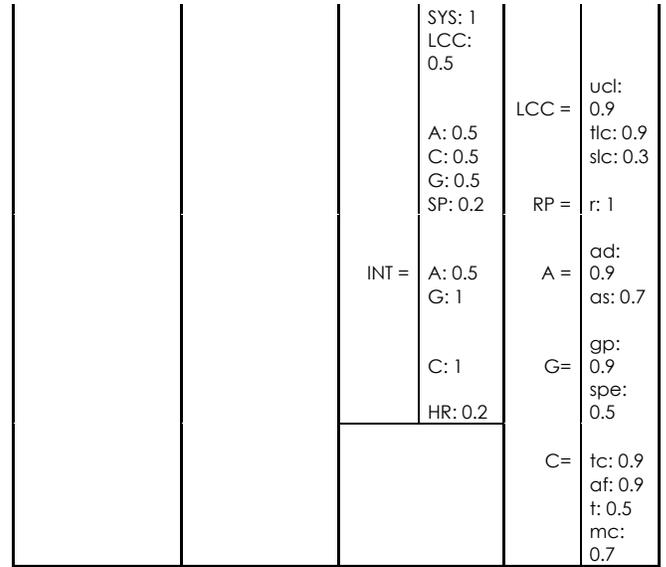
Los aspectos de desensamblaje como sus sub-aspectos, son los siguientes:

Tabla 19 Aspectos del diseño para el desensamblaje planteados por Durmisevic

LISTA DE ASPECTOS Y SUB-ASPECTOS DEL DISEÑO PARA EL DESENSAMBLAJE			
Aspectos de diseño para desensamblaje	No.		Factores determinantes
1 FD (descomposición funcional)	1.1	fs	Separación funcional
	1.2	fdp	dependencia funcional
2 SY (sistematización)	2.1	st	Niveles de subsistemas de construcción y materiales
	2.2	c	Tipos de clúster
3 BE (elementos base)	3.1	b	Tipo de elemento base
4 LCC (Coordinación de ciclo de vida)	4.1	ucl	Coordinación del ciclo de vida de uso
		tcl	Coordinación del ciclo de vida técnico
		s	Coordinación del ciclo de vida y tamaño
		r	Tipo de patrón relacional
5 RP (Patrón relacional)	5.1	r	Tipo de patrón relacional
		ad	dirección de ensamblaje
6 A (Proceso de ensamblaje)	6.1	as	Secuencia de ensamblaje
		gp	Geometría de los bordes del producto
7 G (geometría)	7.1	spe	Estandarización de los bordes del producto
		tc	Tipo de conexiones
8 C (conexiones)	8.1	af	Accesibilidad a las conexiones
		tcl	Tolerancia
		mj	Morfología de las juntas

Estos aspectos (nivel 0) evaluados, se integran al modelo a través de sus respectivas ponderaciones

NIVEL 4	POND.	NIVEL 3	POND.	NIVEL 2	POND.	NIVEL 1	POND.
DP=TC=	I: 0.9 E: 0.9	I =	SP: 1 HR: 1	ML =	FD: 1 LCC: 0.6 RP: 0.5 SYS: 0.5 C: 0.3 RP: 1	FD =	fs: 0.9 fdp: 0.7
		E =	INT : 1	H =		SYS =	st: 0.9 c: 0.9
						BE =	be: 1



Cada nodo en esta estructura puede ser descrito a través de una regla difusa (fuzzy rule), de tal forma que los datos de salida de cada nodo representen el grado de cumplimiento de dicho aspecto.

El modelo trabaja con 17 variables independientes, 14 dependientes y 40 relaciones entre estas variables a las cuales se les da una ponderación del 0 al 1, que toma en cuenta la influencia que tienen las variables en el DfD. (Ilustración 59). Al ser este un valor estimado con su respectiva imprecisión, es representado como una variable difusa (fuzzy variable) caracterizada por una función de pertenencia.

Las funciones de cada miembro están en la forma gaussiana por lo cual su función  $\mu$  está dada por la siguiente expresión:

$$\mu(x_p) = e^{-\frac{(-(x_p - w_{ij}))^2}{2\sigma^2}}$$

En donde  $w_{ij}$  y  $\sigma$  son la media y la varianza de la forma gaussiana. Un operador booleano difuso "AND" (a fuzzy "AND") se aplica mediante una multiplicación aritmética. La media de cada función Gaussiana se caracteriza por el peso (weight factor) del modelo de evaluación. Para  $x_p = w_{ij}$ , se obtiene  $\mu(x_p) = 1$ , de tal forma el modelo verifica la CT para los datos de entrada ideales que forman el modelo. En este caso, las funciones de pertenencia toman los valores máximos.

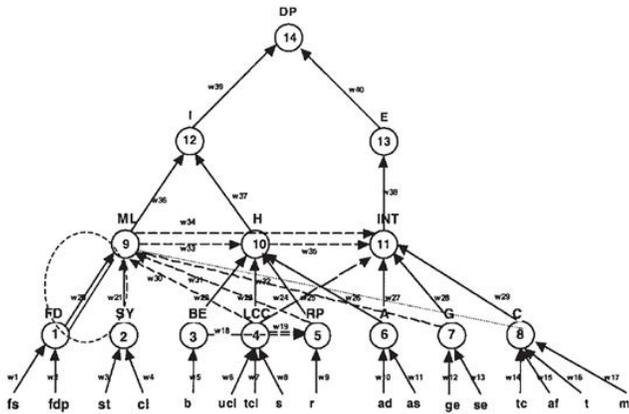


Ilustración 62 Dependencia entre nodos

Debido a que los datos de entrada para este modelo son intervalos categóricos, en vez de descripciones exactas de un fenómeno, se dice que el modelo es un modelo "borroso" o "difuso" basado más bien en datos borrosos representados por variables literales.

Como resultado de esta evaluación, Durmisevic agrupa en tres categorías los edificios según su capacidad de transformación:

Categoría 1: Poseen un algo potencial de desensamblar. Ambos indicadores de transformación (independencia e intercambiabilidad) obtuvieron en un 70% los valores más altos posibles. Esto resulta en una  $TC > 0.67$ . En concordancia con esto, menos del 25% de escombros son generados al momento de una desconstrucción.

Categoría 2: Tienen un potencial de desensamblar medio. Ambos indicadores obtuvieron entre un 33 y un 70% de sus valores más altos posibles. Esto resulta en un  $0.33 < TC < 0.67$ . Durante el proceso de desconstrucción se producirán entre el 20 y el 80% de escombros.

Categoría 3: Tiene un potencial bajo de desensamblar. Ambos indicadores obtuvieron menos del 33% de los valores más altos posibles. Esto pudiera ser considerado como el flujo común de los materiales de construcción. Consecuentemente  $TC < 0.33$ . Y por ende, se generan más de 80% de residuos de construcción durante la desconstrucción.

**En conclusión**, el modelo Durmisevic presenta las siguientes particularidades:

- Resulta difícil de entender, dada la gran cantidad de variables y la falta de una interfaz que permita ingresar cada una de esas variables. El hecho de que solo exista una publicación en donde lo exponga y lo desarrolle de manera general, y no tan detalladamente como exige un modelo de esta complejidad, hace que queden muchas dudas sobre el mismo.
- En consecuencia, resulta difícil de aplicar, pero no por ello deja de ser una guía muy completa sobre cuestiones a tomar en cuenta para la transformación de las edificaciones.
- Finalmente, por su naturaleza, no toma en cuenta el tipo de materiales que han sido empleados, en función de que el modelo es para evaluar la capacidad de transformación de las edificaciones y no así el aprovechamiento de sus materiales.

### > 5.3 Estructura del modelo de evaluación propuesto

La estructura del modelo de evaluación que se presenta a continuación se ha hecho en concordancia con los principios de diseño propuestos en el capítulo IV y, a diferencia de las planteadas con anterioridad por Thormark, Sassi o Durmisevic, las cuales resultan muy generales –es decir para la evaluación de toda la edificación–, la que se presenta a continuación va dirigida a la evaluación de una sola capa edificatoria.

Cada principio de AMM, propuesto en el capítulo IV, se le ha asignado una serie de variables que representan sus reglas de evaluación, mismas que son explicadas a partir de matrices, en algunos casos con valores discretos y en otros con valores definidos a partir de rangos permisibles. Al primer tipo de matrices se les ha identificado con el título de "ponderaciones para la evaluación de x", mientras que al segundo se les denomina "rangos permisibles para la evaluación de x". Cabe señalar que estos rangos permisibles también son posteriormente ponderados para hacer posible su evaluación.

Con la finalidad de poder relacionar cada una de las reglas de evaluación entre sí con sus respectivas ponderaciones y de que el modelo resulte comprensible y práctico, se ha integrado dentro de una interfaz gráfica de usuario a través del lenguaje de programación MATLAB.

El subsistema edificatorio a evaluar –en este caso, la capa estructural de una edificación- se irá evaluando principio por principio, tomando como referencia el peso en kilogramos. A medida que se desarrolle el ejemplo de aplicación esto deberá quedar más claro.

A continuación se exponen los detalles de cómo se construyó esta interfaz.

Establecimiento de las formas de evaluación

Lo primero que se hizo fue definir qué principios serían evaluados de manera discreta, y cuales a partir de rangos.

Aquellos a evaluar de manera discreta y a partir de matrices con valores definidos en la regla de evaluación son aquellos que solo permiten para cada variable tres opciones (Nula, parcial y total –con una excepción en el principio de “Renovación”) es decir matrices “n x 3” en donde “n” será el número de variables y “3” el número posible de opciones. Esto se ha hecho en los principios que deberán de ser evaluados a partir del criterio propio del evaluador, a través de observaciones cualitativas, con el fin de homologar las posibles evaluaciones sin que este criterio afecte de manera importante el resultado final. El hecho de dejar únicamente tres opciones disminuye la posibilidad de resultados que varíen de acuerdo al evaluador, Ej.

Para evaluar el grado de cumplimiento del principio “**plan**” una variable que interviene es “planos”, es decir, si existen planos completos, detallados y claros sobre el sistema edificatorio. De esta manera, si existen algunos planos parciales que faciliten las labores de desensamble, cualquier evaluador calificará dicha variable como: “parcial”. De lo contrario, si existiesen rangos que fueran del 0 al 1 (0=nulo y 1=total), el criterio del evaluador en cuanto a qué tan completos son esos planos, o incluso, que tan bien hechos están, afectaría el resultado final.

Por otra parte los principios que son evaluados a partir de rangos deben leerse como: “que tanto de esta variable afecta al sistema”. En consecuencia estos rangos van del 0 al 1 (0=0% y 1=100% del sistema). La representación matricial de estas reglas correspondería a matrices n x ∞ en donde “n” corresponde al número de variables e ∞ a un valor dentro de los límites 0,1.

Establecer Valores de referencia y ponderaciones:

Los valores de referencia como su nombre lo dice, han servido únicamente para establecer la ponderación que se considerará para cada variable dentro de la matriz de evaluación.

Para las reglas de evaluación construidas a partir de matrices discretas, serán siempre:

- Para el vector columna “a” = 1
- Para el vector columna “b” = 0.5
- Para el vector columna “c” = 0.03

Y las ponderaciones se construirán dividiendo el valor de referencia entre el número de variables. (En caso de que se presente una variable con mayor peso que las demás, dando a esta un decimal más)

Ej. Las ponderaciones para una matriz 3x3 sería:

	a	b	c
1	0.30	0.15	0.01
2	0.30	0.15	0.01
3	0.40	0.20	0.01

Para las reglas de evaluación construidas a partir de rangos, los valores de referencia y las ponderaciones serán los mismos. Se siguió el siguiente procedimiento para establecerlos (con dos excepciones)

- Ponderación de la primer variable (primer vector fila): 1
- Ponderación de la segunda a la penúltima variable (segundo al penúltimo vector fila):  $V_s = 1 / (n - 1)$

$V_s$ = Ponderación del vector fila superior

$n$ = Número vectores fila

Valor de la última variables = .01

Ej. Para el caso de una matriz 3 x ∞ la ponderación sería:

		Pond.
1	1er Vector f	1.00
2	2do Vector f	0.50
3	3er Vector f	0.00

La primera excepción se hizo en el principio de “modulación” que presenta variables que no son mutuamente excluyentes

(Material y arquitectónica) de las cuales, *Material* se ha considerado más importante. Por ello y con el fin de que el cumplimiento de ambas variables retorne el valor "1" se asignó una ponderación 0.75 y 0.25 para los valores.

La segunda excepción se hizo al definir los rangos otorgados las variables Cantidad de equipo y cantidad de herramienta. Ambos dependen del porcentaje de desensamble manual y se detalla en las matrices de rangos permisibles que en el ANEXO 15.

Definición de la nomenclatura, descripción de las variables y establecimiento de los rangos permisibles de cada variable para la obtención del valor de cada principio.

En el ANEXO 15 se presentan treinta y dos tablas, dos para cada variable, en las que se define por una parte la nomenclatura empleada en la interfaz gráfica de usuario (IGU) y las ponderaciones (para el caso de las matrices con rangos), y por otra parte se expone la etiqueta de los botones de cada variable, una breve descripción y las ponderaciones o los rangos permisibles según sea el caso. Al final de este anexo se muestra la fórmula para la obtención del valor de cada principio a evaluar.

El modelo se ha diseñado de manera adaptativa, de tal forma que se adecúe al sistema a evaluar. En este sentido, se han definido veinte escenarios a través de una matriz de evaluación final (Ilustración 63), en donde se expresan las ponderaciones que el modelo tomará para evaluar el sistema en cuestión. Esta Matriz, a pesar de que se expone en el ANEXO 15, se incluye aquí, una segunda vez, con la finalidad de que se entienda el porqué de estos escenarios.

Los escenarios que adoptará el modelo de evaluación dependen de los valores de "tec" (separación de niveles de descomposición técnica) e "ind" (industrialización del sistema edificado) tal y como a continuación se describe:

"tec" es el principio que evalúa qué porcentaje del sistema puede ser desensamblado y separado (nota: no demolido y separado) de tal forma que si "tec" = 0, significa que el sistema no cuenta con conexiones mecánicas, y en consecuencia, no existirá la posibilidad de evaluar :

- "geometría de las uniones", ni

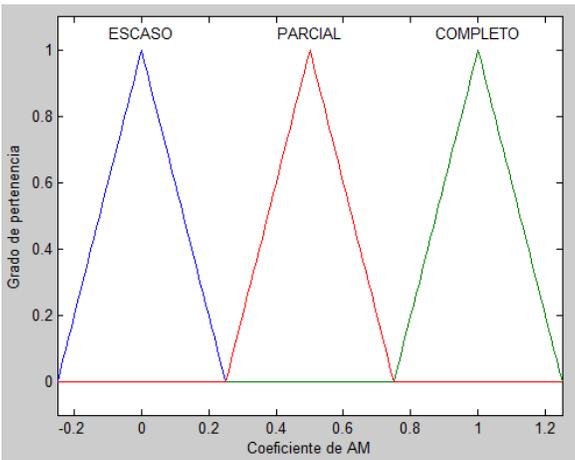
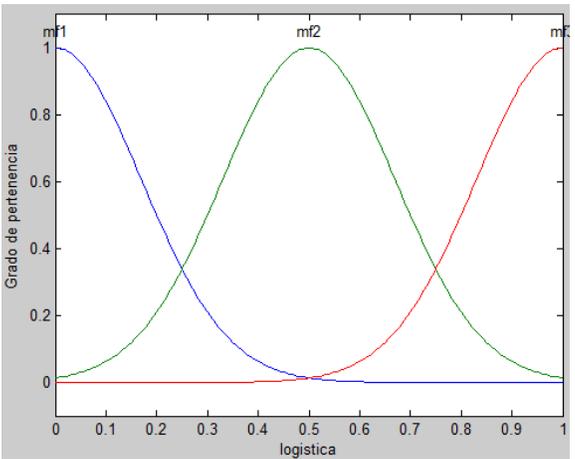
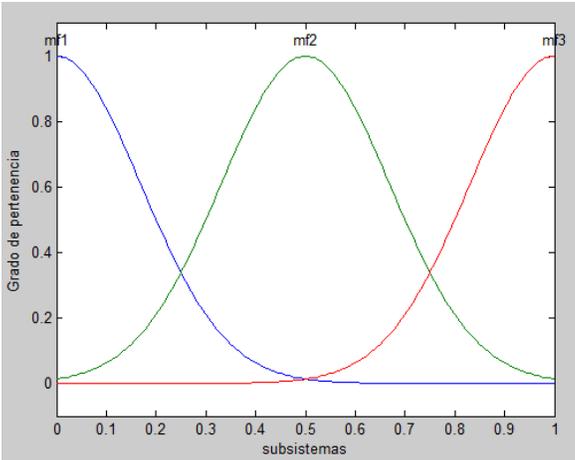
- "cantidad y el tipo de herramientas requeridas para el desensamble" ni
- "pasos para el desensamble"

En este escenario, tal y como se observa en la matriz de evaluación, estos principios tienen una ponderación de 0, y otros como "reutilización" o "reciclaje" adquieren una ponderación mayor, en función de que si no pueden separarse mecánicamente las partes, su aprovechamiento estará en función de que tan reutilizables y reciclables son estas partes en conjunto. Por otra parte, si el caso fuera que "tec" tuviera un valor muy bajo, significando que existen muy pocas partes del sistema que pueden ser desensambladas, estos tres principios que previamente se comentó habrían de excluirse de la evaluación cuando "tec" fuera 0, ahora serán tomados en cuenta pero con una ponderación mucho menor a los demás, debido a que en realidad con ellos solo se estará evaluando una pequeña parte del sistema, es decir, los elementos que tienen conexiones mecánicas. Así pues, bajo este razonamiento, se ha decidido asignar cinco escenarios posibles para "tec" los cuales son:

- Máximo = 1 : todo el sistema está conectado mediante uniones mecánicas
- Alto = 0.85 > "tec" > 0.603 : La mayor parte del sistema puede ser desensamblado
- Medio = 0.603 > "tec" > 0.4065 : Aproximadamente la mitad del sistema puede ser desensamblado, la otra mitad tiene conexiones soldadas o continuas.
- Bajo = 0.4065 > "tec" > 0.1565 : La mayor parte del sistema tiene conexiones soldadas o continuas incapaces de ser desensambladas.
- Nulo = 0.01 : La totalidad del sistema esta conectado mediante uniones soldadas o continuas imposibles de ser desensambladas.

"ind", por otra parte, evalúa el grado de industrialización y prefabricación del sistema. Si "ind"=1 equivale a un sistema completamente industrializado, y prefabricado, sin necesidad de que se le hagan ajustes mayores en obra y si "ind"=0 se tratará de un sistema completamente construido en obra, sin partes prefabricadas. Por ello, en un sistema en el que la variable "ind" corresponda a 0, no puede pensarse en evaluar la modulación y es por ello que la ponderación para modulación, en un escenario tal, sería excluida. En este caso se





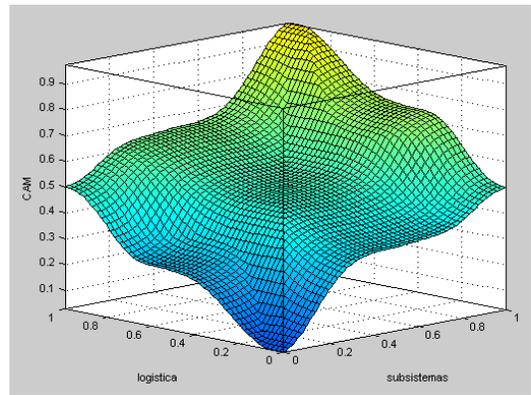
**Ilustración 64** Funciones de pertenencia para la evaluación del AMM

En seguida se construyeron las siguientes cuatro reglas sobre las que trabajaría el FIS:

- Si subsistemas es mf3 o logística es mf3 entonces Coeficiente de AM es completo. (ponderación 0.25)

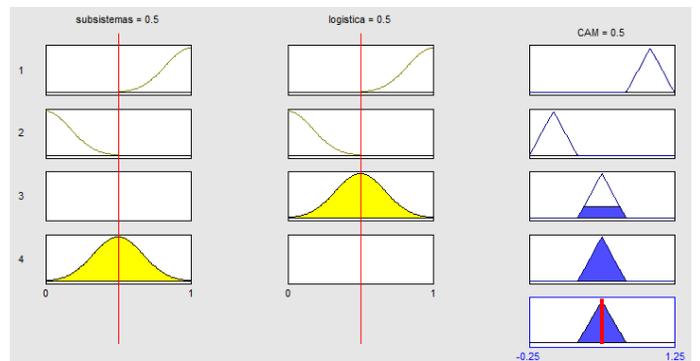
- Si subsistemas es mf1 o logística es mf1 entonces Coeficiente de AM es escaso. (ponderación 0.25)
- Si logística es mf2 entonces Coeficiente de AM es parcial. (ponderación 0.25)
- Si subsistemas es mf2 entonces Coeficiente de AM es parcial. (ponderación 1)

Dando como resultado la siguiente gráfica: (se observa aquí de manera gráfica cómo tiene mayor peso el área de "subsistemas" en comparación con la de "logística de desensamblable" y también cómo tiende a "achataarse" en el centro para evitar caer en valores poco realistas de los extremos)



**Ilustración 65** Relación: Logística-subsistemas dentro del FIS para la obtención del coeficiente de AM

Una muestra de cómo opera el FIS con valores 0.5, 0.5 se da en la siguiente imagen:



**Ilustración 66** Ejemplo de mecanismo para el cálculo del coeficiente de AM a través del FIS en MATLAB

### > 5.3.1 Construcción de la interfaz gráfica de usuario

Habiendo realizado esto, se integraron algunas características adicionales como botones de "reset" para borrar datos, botones "select all" para seleccionar estados de la naturaleza similares para todas las variables, un recuadro de explicación y un área para graficar los resultados. Finalmente se procedió a integrar todo este conjunto de reglas de evaluación en una interfaz gráfica de usuario que mostrara estos principios con sus respectivas variables, de manera ordenada, como ya se comentó anteriormente, mediante el lenguaje de programación MATLAB.

El código de programación para esta interfaz cuenta con más de nueve mil líneas, motivo por el cual no se incluyó en este documento ni en sus anexos, pero son presentados en el sitio web <http://amm.x10.mx>.

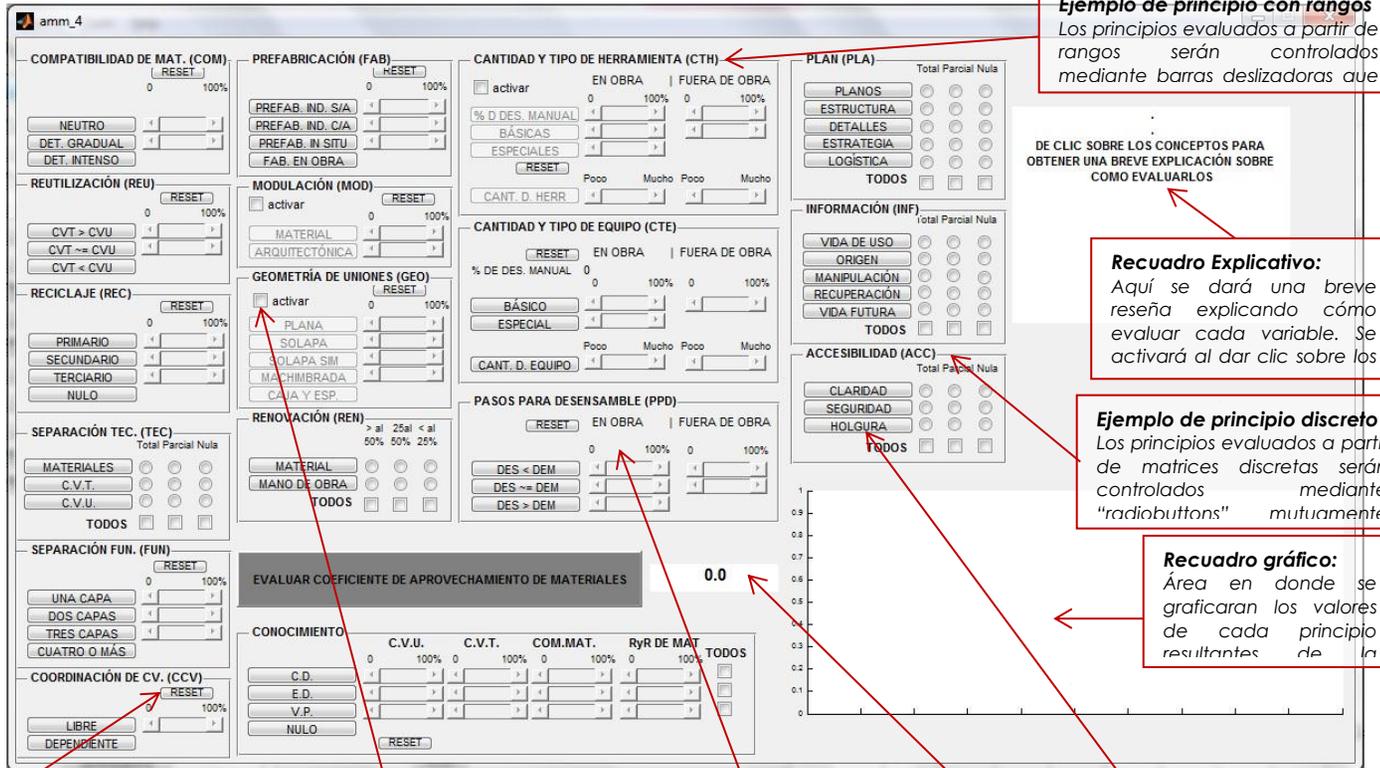
Para poder ejecutar y hacer uso de ésta interfaz gráfica de usuario se requiere lo siguiente:

- 1.- Entender cada uno de los conceptos del esquema de AMM.
- 2.- Contar con un programa/lenguaje de programación MATLAB v. 7.12.0.635 (R2011a) o más reciente .
- 3.- Acceder al sitio <http://amm.x10.mx/EAR.htm> y descargar el código fuente.
- 4.- Descomprimirlo con la contraseña "IGUAMM\_01\_13".
- 5.- Finalmente, copiarlo y pegarlo en una Interfaz Gráfica de Usuario nueva en MATLAB.

En la siguiente página se muestra la vista inicial de esta esta interfaz. Más adelante también se muestran ejemplos del caso más desfavorable y el más favorable posibles, que dejan ver como el resultado del coeficiente de aprovechamiento de materiales corresponde para el primer caso a: 0.032505 y para el segundo 0.97153.

Es importante señalar que cada una de las variables que intervienen en el modelo de evaluación del aprovechamiento maximizado de materiales (**AMM**) deberá de ser evaluada por algún experto dado que existen algunas de ellas que responden a juicios de carácter cualitativo.

INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA LA EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO DE MATERIALES



**Ejemplo de principio con rangos**  
Los principios evaluados a partir de rangos serán controlados mediante barras deslizadoras aue

DE CLIC SOBRE LOS CONCEPTOS PARA OBTENER UNA BREVE EXPLICACIÓN SOBRE COMO EVALUARLOS

**Recuadro Explicativo:**  
Aquí se dará una breve reseña explicando cómo evaluar cada variable. Se activará al dar clic sobre los

**Ejemplo de principio discreto**  
Los principios evaluados a partir de matrices discretas serán controlados mediante "radiobuttons" mutuamente

**Recuadro gráfico:**  
Área en donde se graficaran los valores de cada principio resultantes de la

**Botón "reset"**  
Devuelve los valores "default" a las variables del principio en donde se encuentra. En este caso por ejemplo devolvería:  
LIBRE = 0  
DEPENDIENTE = 1  
(por lo regular es el escenario más desfavorable)

**Casilla de activación:**  
Servirá para activar de manera manual cuestiones que solo aplican para sistemas desensamblables, es decir, que tienen conexiones mecánicas.

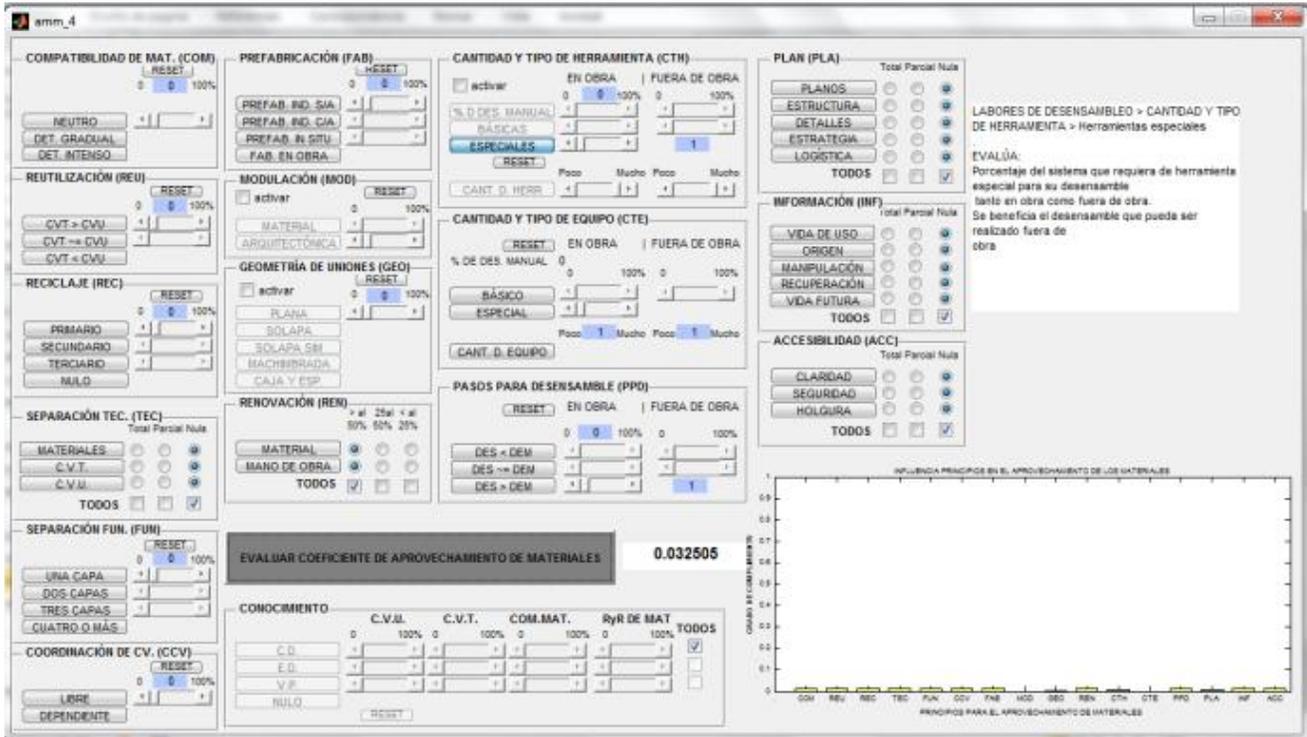
**Valor numérico:**  
Espacio destinado a la aparición del valor numérico con que estamos evaluando cada variabl.

**Coefficiente resultante:**  
Valor final que estará dado por la asociación de las

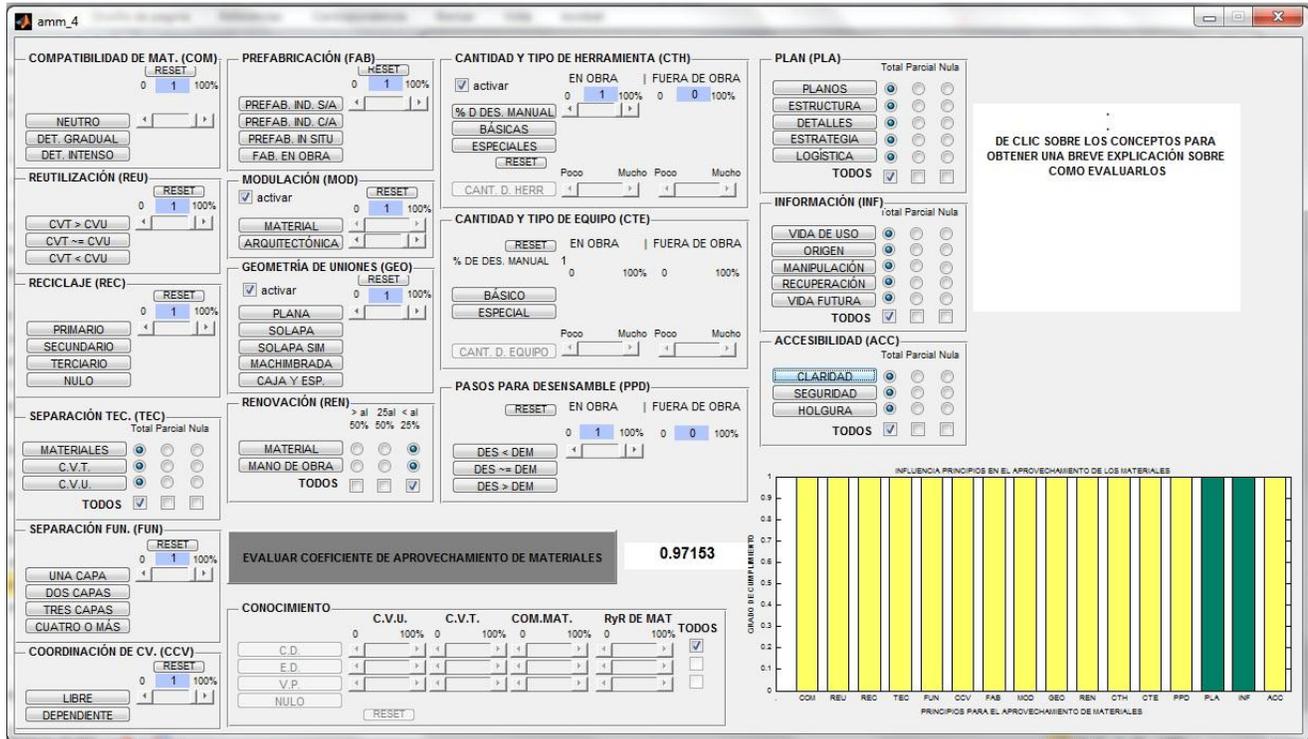
**Botón de variable:**  
Servirá para activar lo siguiente:

- Las barras deslizadoras(en caso de que las haya)
- El recuadro explicativo de dicha variable.

CASO MÁS DESFAVORABLE POSIBLE A EVALUAR (0.032505)



CASO MÁS FAVORABLE POSIBLE A EVALUAR (0.97153)



>5.4 **Ejemplos de aplicación**

Se tomaron dos casos de estudio para demostrar la operatividad del modelo de evaluación presentado de manera previa.

El primer caso de estudio corresponde a una edificación tipo nave industrial construida en el 2006, que en la actualidad sirve de local comercial. Dicha construcción presenta una capa estructural mixta, es decir, a base de distintos métodos constructivos y emplea diversos materiales.

El segundo caso de estudio, fue la capa estructural de una edificación compuesta únicamente de un solo material (acero), y que servirá para bodega, ya que actualmente se encuentra en proceso de construcción.

La evaluación de estos dos casos de estudio permitirá comparar cuál de los dos sistemas constructivos distintos resulta con un mayor aprovechamiento de materiales.

En las siguientes páginas se detalla, la ubicación, se muestran los planos del proyecto, se hace la cuantificación de los componentes de los sistemas a evaluar y se explica el criterio de evaluación en las respectivas matrices de evaluación de cada caso de estudio. Al final se exponen los resultados obtenidos tras evaluar cada caso de estudio bajo los principios de la EPyDiPAMM en la Interfaz Gráfica de Usuario creada en MatLab.

En ambos casos de estudio, se excluyó la cimentación, ya que ésta, una vez que queda concluida, se vuelve parte de la capa funcional denominada Sitio.

>5.4.1 **Caso de estudio 1**

>5.4.1.1 **Ubicación**

El caso de estudio uno se encuentra ubicado en la en la ciudad de Morelia Michoacán en la avenida Siervo de la Nación, esquina Loma el Mirador

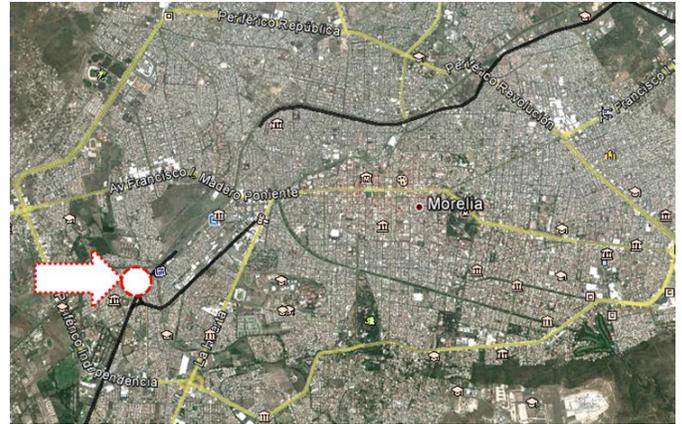


Ilustración 67 Ubicación Macro de caso de estudio



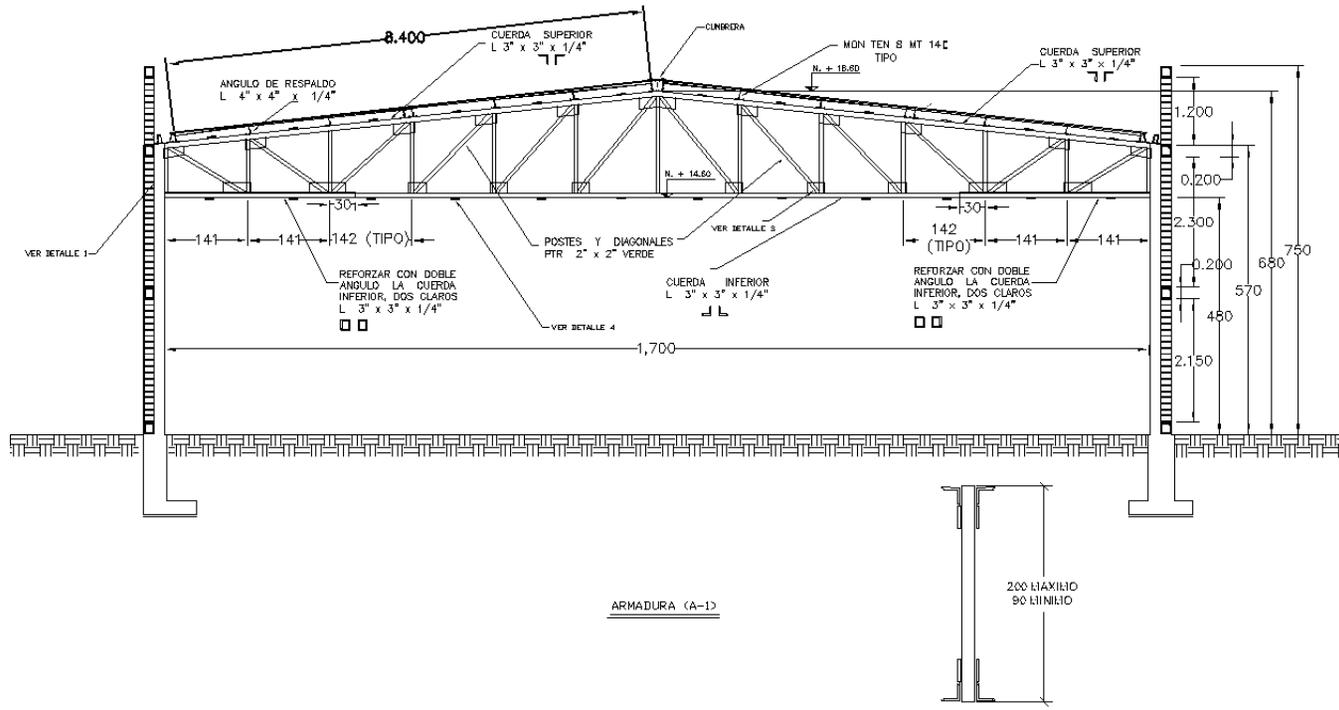
Ilustración 68 Ubicación micro, de caso de estudio



Ilustración 69 Caso de estudio

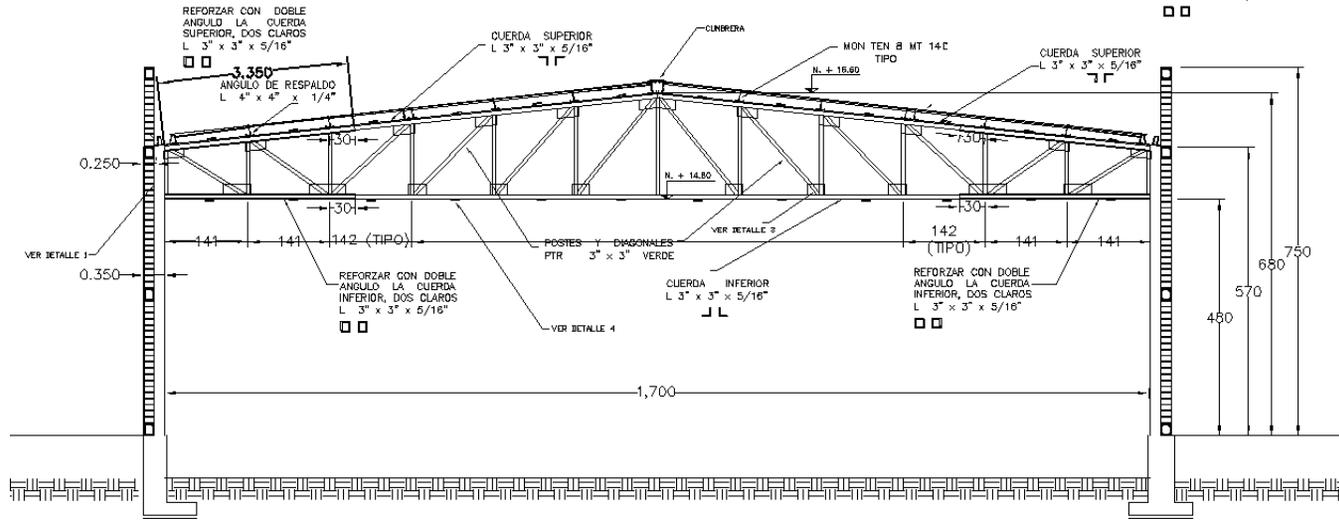
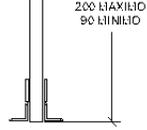
>5.4.1.2 **Planos de proyecto**





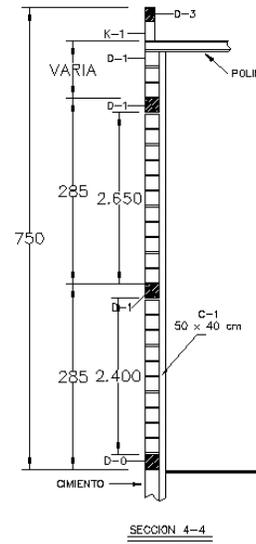
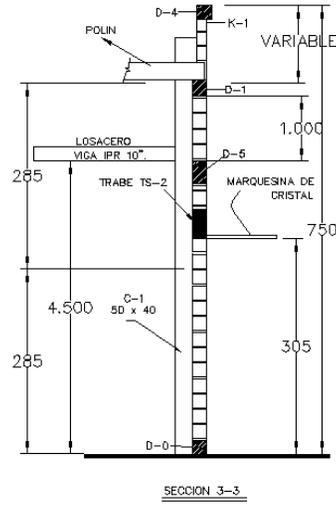
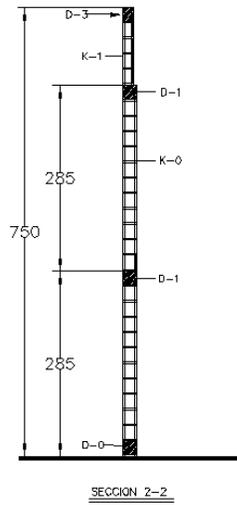
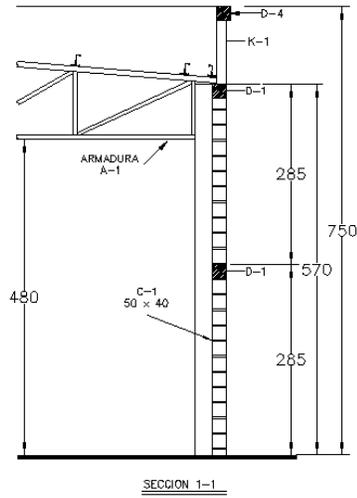
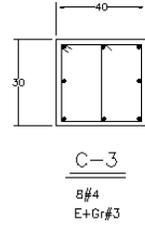
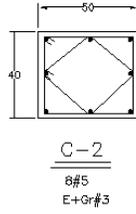
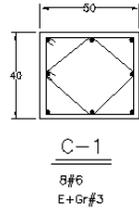
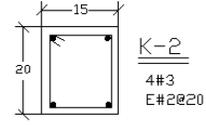
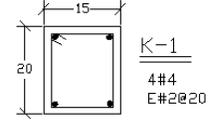
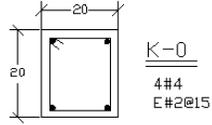
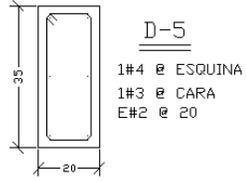
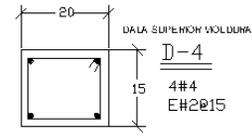
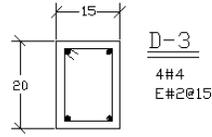
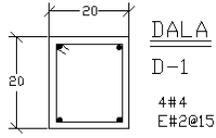
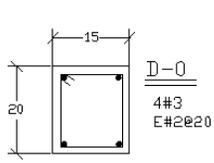
ARMADURA (A-1)

SECCION ARMADURAS

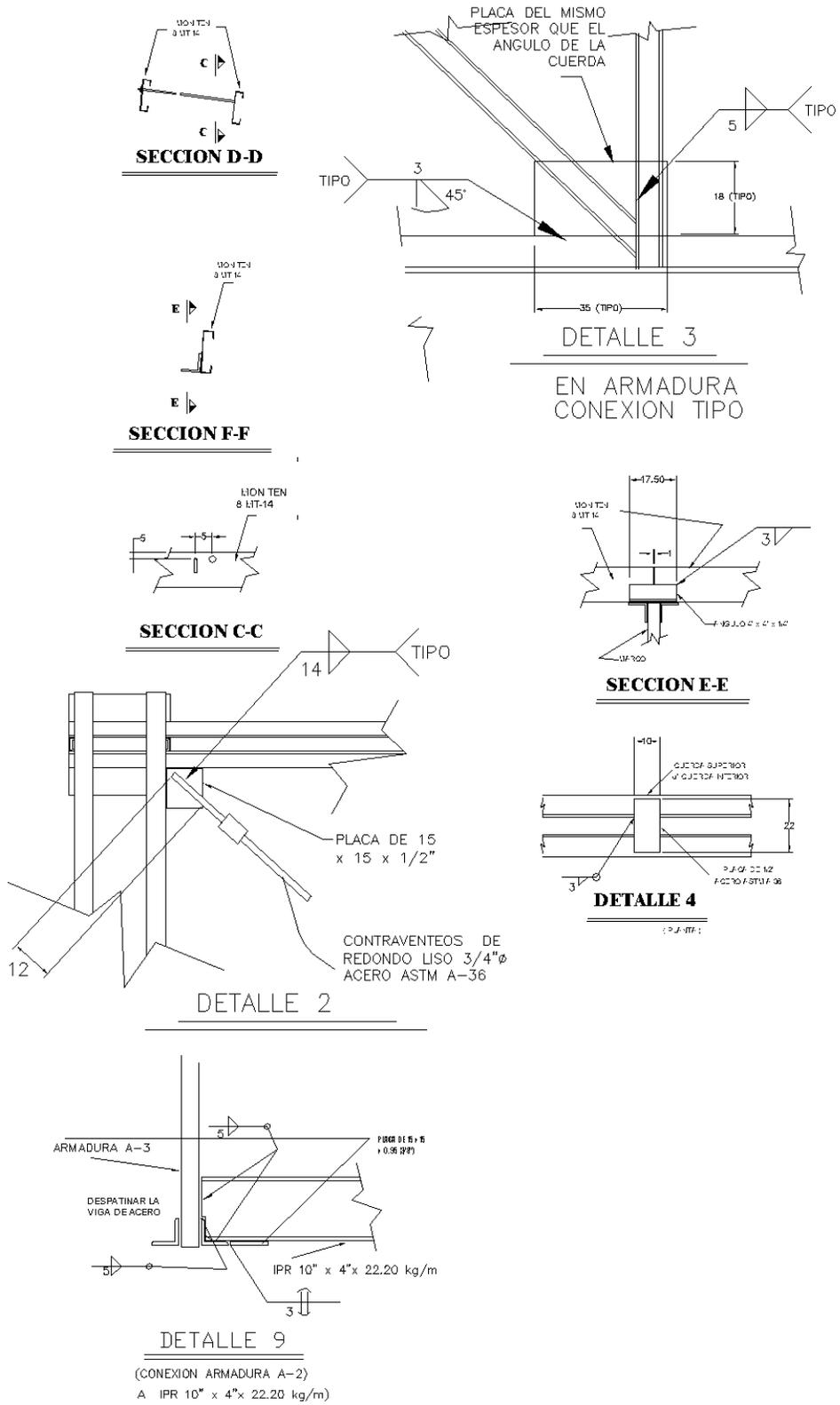


ARMADURA (A-2)

Alzados  
s/e



**Detalles de columnas y muros**  
s/e



**Detalles de conexiones y anclas 2**  
 s/e



>5.4.1.3 Cuantificación de materiales

Por tratarse de una construcción de estructura mixta, se dividieron los elementos en cuatro rubros:

- Elementos estructurales de mampostería
- Elementos estructurales de concreto armado

- Elementos estructurales de acero ahogados en concreto
- Elementos estructurales en acero

Posteriormente se cuantificó el volumen de material de cada elemento y de esta manera se obtuvo su respectivo peso en kilogramos y los porcentajes de incidencia de cada rubro.

Tabla 20 Cuantificación de materiales de la capa estructural

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN EL CASO DE ESTUDIO													
		PESO VOL.	SENCILLO, DOBLEO TRIPLE	CANT. DE PZAS. X EJE	LARGO	ALTO	ÁREA / CANT.	CANT. POR EJE	CANT. DE EJES U.	CANT. DE EJES	PESO TOTAL EN KG.	SUMATORIAS EN KG	% DE INCIDENCIA
<b>ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA</b>													
M-1	Muro de tabique rojo e=20cms de 6.7 m de altura, unido con mortero arena:cemento:cal f'c=75kg/cm2, enjarrado con mortero arena:cemento:cal con espesor promedio de 2 cms	240.00 kg/m2	1	1	62.99	6.7	-	422.033	m2	1	101,287.92		
M-2	Muro de tabique rojo e=20cms, de 3 m de altura, unido con mortero arena:cemento:cal f'c=75kg/cm2, enjarrado con mortero arena:cemento:cal con espesor promedio de 2 cms	240.00 kg/m2	1	1	15.7	3	-	47.1	m2	1	11,304.00		
<b>SUBTOTAL</b>												112,591.92	54%
<b>ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO</b>													
D-0	Dala de 15 x 20 cms hecha a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #3 y E. # 2 @ 20 cms.	72.56 kg/m	1	1	83.695	-	-	83.695	m	1	6,072.66		
D-1	Dala de 20 x 20 cms hecha a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #4 y E. # 2 @ 15 cms.	96.87 kg/m	1	1	179.24	-	-	179.24	m	1	17,362.26		
D-3	Dala de 20 x 15 cms hecha a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #4 y E. # 2 @ 15 cms.	72.75 kg/m	1	1	43.0018	-	-	43.0018	m	1	3,128.37		
D-4	Dala de 20 x 15 cms hecha a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #4 y E. # 2 @ 15 cms.	72.75 kg/m	1	1	44.8932	-	-	44.8932	m	1	3,265.97		
D-5	Dala de 20 x 35 cms hecha a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 1Vs #4 @esq 1Vs #3 @ cara y E. # 2 @ 20 cms.	168.92 kg/m	1	1	6.95	-	-	6.95	m	1	1,173.97		
K-0	Castillo de 20 x 20 cms hecho a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #4 E. #2 @ 15 cms.	96.87 kg/m	1	21	-	5.7	-	5.7	m	1	11,595.34		
K-1	Castillo de 20 x 15 cms hecho a base de concreto f'c=150kg/cm2 armada con 4 Vs #4 E. #2 @ 20 cms.	72.57 kg/m	1	21	-	1.8	-	1.8	m	1	2,743.15		
TS-1	trabe de 20 x 70 x 600 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 6 Vs #6, 2 Vs #4, E. #3 @ 15 cms.	340.51 kg/m	1	1	6	-	-	6	m	1	2,043.07		
TS-2	trabe de 20 x 70 x 780 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 6 Vs #5, 2 Vs #4, E. #3 @ 15 cms (en promedio).	340.50 kg/m	1	1	7.8	-	-	7.8	m	1	2,655.87		
TS-3	trabe de 20 x 70 x 1,550 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 6 Vs #5, 2 Vs #4, E. #3 @ 15 cms (en promedio).	340.50 kg/m	1	1	15.5	-	-	15.5	m	1	5,277.68		
C-1	Columna de 50 x 40 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 8 Vs #6 y E. + GR # 3 @ 15 cms. En promedio	489.27 kg/m	1	4	-	5.7	-	5.7	m	1	11,155.30		
C-2	Columna de 50 x 40 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 8 Vs #5 y E. + GR # 3 @ 15 cms. En promedio	489.25 kg/m	1	6	-	5.7	-	5.7	m	1	16,732.22		
C-3	Columna de 40 x 30 cms hecha a base de concreto f'c=200kg/cm2 armada con 8 Vs #4 y E. + GR # 3 @ 15 cms. En promedio	292.96 kg/m	1	2	-	5.7	-	5.7	m	1	3,339.78		
<b>SUBTOTAL</b>												86,545.63	41%
<b>ESTRUCTURA DE ACERO AHOGADA EN CONCRETO</b>													
	PL 1" x 30 x 35	200.00 kg/m2	1	8	-	-	0.105	0.84	m2	3	504.00		
Ancla superior de armadura	PL 1" x 7.5 x 30	200.00 kg/m2	1	8	-	-	0.02625	0.21	m2	3	126.00		
	Ro 2" x 30	15.90 kg/m	1	8	0.3	-	-	2.4	m	3	114.48		
	PL 3/4" x 10 x 10	150.00 kg/m2	1	8	-	-	0.01	0.08	m2	3	36.00		
Ancla inferior de armadura	PL 3/4" x 10 x 10	150.00 kg/m2	1	8	-	-	0.0875	0.7	m2	3	315.00		
	Ro 2" x 30	15.90 kg/m	1	8	0.3	-	-	2.4	m	3	114.48		
	PL 3/4" x 25 x 35	150.00 kg/m2	1	8	-	-	0.01	0.08	m2	3	36.00		
Anclas de polín cumbra	PL 1/2"	50.00 kg/m2	1	2	-	-	0.04	0.075	m2	1	3.75		
	Ro 5/8"	9.00 kg/m	3	2	0.2000	-	-	1.2	m	1	10.80		
Anclas polín sencillo	PL 1/2"	50.00 kg/m2	1	12	-	-	0.0225	0.27	m2	1	13.50		
	Ro 5/8"	9.00 kg/m	2	12	0.2000	-	-	4.8	m	1	43.20		
Anclas polín doble	PL 1/2"	50.00 kg/m2	1	6	-	-	0.04	0.225	m2	1	11.25		
	Ro 5/8"	9.00 kg/m	3	6	0.2000	-	-	3.6	m	1	32.40		
Ancla vigas IPR	PL 3/8" x 15 x 25	75.00 kg/m2	1	7	-	-	0.0375	0.2625	m2	1	19.69		
	APS 2 1/2" X 1/4"	6.10 kg/m	2	7	0.3000	-	-	4.2	m	1	25.62		
<b>SUBTOTAL</b>												1,406.17	1%

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN EL CASO DE ESTUDIO													
		PESO VOL.	SENCILLO, DOBLO TRIPLE	CANT. DE PZAS. X EJE	LARGO	ALTO	ÁREA/ CANT.	CANT. POREJE	U.	CANT DE EJES	PESO TOTAL EN KG.	SUMATORIA S EN KG	% DE INCIDENCIA
<b>ESTRUCTURA DE ACERO</b>													
<b>Armadura 1</b>													
CS	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	8.918	-	-	35.672	m	3	780.15		
Cajón CS	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	0.3	-	-	1.2	m	3	26.24		
Separador	PL ½"	100.00 kg/m2	1	12	-	-	0.022	0.264	m2	3	79.20		
PL Conexión	PL ¼"	50.00 kg/m2	2	12	-	-	0.06	1.512	m2	3	226.80		
Cl	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	8.50	-	-	34	m	3	743.58		
Refuerzo Cl	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	3.13	-	-	12.52	m	3	273.81		
Separador	PL ½"	100.00 kg/m2	1	12	-	-	0.022	0.264	m2	3	79.20		
Repisa	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	2	-	-	0.0625	0.125	m2	3	28.13		
Cartabon	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	2	-	-	0.01	0.02	m2	3	4.50		
Postes	PTR 2"Vde	4.54 kg/m	1	1	18.60	-	-	18.596	m	3	253.28		
Diagonales	PTR 2"Vde	4.54 kg/m	1	1	24.91	-	-	24.914	m	3	339.33		
PL Conexión	PL ¼"	50.00 kg/m2	2	12	-	-	0.06	1.512	m2	3	226.80		
<b>Armadura 2</b>													
CS	APS 3"X5/16"	9.08 kg/m	2	2	8.918	-	-	35.672	m	1	323.90		
Cajón CS	APS 3"X¼"	9.08 kg/m	4	2	3.55	-	-	28.4	m	1	257.87		
Separador	PL ½"	100.00 kg/m2	1	12	-	-	0.022	0.264	m2	1	26.40		
PL Conexión	PL ¼"	50.00 kg/m2	2	12	-	-	0.06	1.512	m2	1	75.60		
Cl	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	8.50	-	-	34	m	1	247.86		
Refuerzo Cl	APS 3"X¼"	7.29 kg/m	2	2	3.13	-	-	12.52	m	1	91.27		
Separador	PL ½"	100.00 kg/m2	1	12	-	-	0.022	0.264	m2	1	26.40		
Repisa	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	2	-	-	0.0625	0.125	m2	1	9.38		
Cartabon	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	2	-	-	0.01	0.02	m2	1	1.50		
Postes	PTR 2"Vde	4.54 kg/m	1	1	18.60	-	-	18.596	m	1	84.43		
Diagonales	PTR 2"Vde	4.54 kg/m	1	1	24.91	-	-	24.914	m	1	113.11		
PL Conexión	PL ¼"	50.00 kg/m2	2	12	-	-	0.06	1.512	m2	1	75.60		
<b>Polinería</b>													
Polin Sencillo	8 MT- 14	5.62 kg/m	1	1	216.00	-	-	216	m	1	1213.92		
Polin Doble	2-8 MT- 14	11.58 kg/m	1	1	108.00	-	-	108	m	1	1250.64		
Polin cumbreira	2-8 MT- 14	11.58 kg/m	1	1	30.00	-	-	30	m	1	347.40		
PL ½"x15x15@80	PL ½"	50.00 kg/m2	2	44.95	-	-	0.0225	2.02275	m2	1	101.14		
Clips de respaldo	APS 4"X¼"	9.82 kg/m	1	72	0.18	-	-	12.96	m	1	127.27		
<b>Contra vientos</b>													
Crucetas	Ro 3/4"	2.235 kg/m	1	36	7.35	-	-	264.6	m	1	591.38		
Fijación	PL ½"	100.00 kg/m2	1	72	-	-	0.0225	1.62	m2	1	162.00		
Cajitas	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	72	-	-	0.0100	0.72	m2	1	54.00		
	PL ¼"	50.00 kg/m2	1	72	-	-	0.0064	0.4608	m2	1	23.04		
Tca 3/4"	Tca 3/4"	0.10 kg/pza	1	72	-	-	1.00	72	pza	1	7.20		
<b>Contraflambee</b>													
	Ro 3/8"	0.559 kg/m	1	18	9.0000	-	-	162	m	1	90.56		
	Tca 3/8"	0.1	1	18	-	-	18.00	324	pza	1	32.40		
<b>Viguería</b>													
IPR	IPR 10"X22.4	22.400 kg/m	1	1	29.7	-	-	29.7	m	1	665.28		
PL 15x15	PL 3/8"	75.00 kg/m2	1	7	-	-	0.0225	0.1575	m2	1	11.81		
PL 25x5	PL 3/8"	75.00 kg/m2	2	7	-	-	0.0125	0.175	m2	1	13.13		
<b>SUBTOTAL</b>											<b>9,085.49</b>	<b>4%</b>	
<b>GRAN TOTAL</b>											<b>209,629.21</b>	<b>100%</b>	

De la tabla anterior, se obtuvo que la mayor parte de la estructura de dicha nave está conformada a base de elementos de mampostería en un 54%, seguida por elementos de concreto armado, en un 41%. Y el restante 4% por elementos de acero estructural.

Tabla 21 Resultantes de la cuantificación de la capa estructural del caso de estudio

	SUMATORIAS EN KG	% DE INCIDENCIA
<b>ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA</b>	<b>112,592</b>	<b>54%</b>
<b>ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>86,546</b>	<b>41%</b>
<b>ESTRUCTURA DE ACERO AHOGADA EN CONCRETO</b>	<b>1,406</b>	<b>1%</b>
<b>ESTRUCTURA DE ACERO</b>	<b>9,085</b>	<b>4%</b>

### >5.4.1.4 Matriz de valorización de los elementos de construcción, caso de estudio uno

Cada principio que ha sido comentado y explicado en el capítulo anterior se presenta ahora a través de una Matriz, de valorización como una variable. En esta matriz se detalla el grado de cumplimiento del caso de estudio uno en cada principio de la EPyDiPAMM. Para facilitar la comprensión de la relación que tiene cada principio con el caso de estudio uno, se especifica a un costado de las variables el objetivo principal que busca alcanzar el cumplimiento de dicho principio. Por ejemplo: Para el caso de "modulación" En la medida que se logre el principio de *modulación* se favorecerá el aprovechamiento maximizado de los materiales en función de que se disminuirá el desperdicio.

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA
<b>SUBSISTEMAS</b>		
<b>Materiales</b>		
<b>Re-aprovechamiento</b>		
<b>Reutilización</b>		
Posibilitar/incorporar un re- aprovechamiento a través de la reutilización	CVT > CVU	100%
	CVT ≈ CVU	0%
	CVT < CVU	0%
<b>Reciclaje</b>		
Posibilitar/incorporar un re- aprovechamiento a través del reciclaje	PRIMARIO	5%
	SECUNDARIO	95%
	TERCIARIO	0%
	NULO	0%
<b>Compatibilidad</b>		
Incrementar su vida técnica	NEUTRO	99%
	DET. GRADUAL	1%
	DET. INTENSO	0%
<b>Estratificación adecuada</b>		
<b>Separación de capas</b>		

DESCRIPCIÓN PUNTUAL

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN

NOTAS RECORDATORIAS

← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos mayores que sus propios ciclos de vida de uso.

← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos similares a sus propios ciclos de vida de uso.

← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos menores que sus propios ciclos de vida de uso.

← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel primario

← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel secundario

← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel terciario

← Porcentaje del sistema con materiales que no pueden ser reciclados

← Porcentaje del sistema con materiales que no presentan un desgaste intenso por estar en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos

← Porcentaje del sistema con materiales que tienen un desgaste gradual, en donde la vida técnica va disminuyendo de manera similar y proporcional a la vida de uso, debido a que están en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos de manera recurrente

← Porcentaje del sistema con materiales que tienen un desgaste intenso, en donde la vida técnica disminuye de manera mucho más aceleradamente que la vida de uso, debido a que están en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos de manera constante

Tomando como referencia lo citado en el capítulo cuatro, punto 4.2.12 y en el punto 1.4 del capítulo 1 se puede concluir que la vida técnica de la estructura, en condiciones normales, no es inferior a los cincuenta años, mientras que los ciclos de vida de uso gira alrededor de los 20 años. Por ende se asigna que el 100% de la estructura tiene un ciclo de vida técnico mayor a su posible ciclo de vida de uso.

Tomando como referencia lo citado en el capítulo cuatro, punto 4.2.11 y el ANEXO 18 se concluye que el porcentaje del sistema compuesto por acero (5%-ver tabla 20-) es reciclable a nivel primario, mientras que el porcentaje del sistema compuesto a partir de mampostería o concreto (95%-ver tabla 20-) es reciclable pero solo a nivel secundario.

En estructuras, el caso "neutro" se presentaría en casos en los que la estructura se encontrase aislada de agentes nocivos externos y con conexiones de un solo tipo de material

Dado que la estructura del caso de estudio se encuentra adecuadamente pintada y no expuesta a humos, vapores industriales u otros agentes nocivos provenientes del medio ambiente o de las conexiones propias de la estructura, se considera que la condición de compatibilidad en el sistema es "neutra" y solo existe un deterioro gradual en las conexiones, que representan cerca del 1% de la estructura. El caso de deterioro intenso en estructuras de acero se presentaría en aquellas estructuras con un recubrimiento deficiente y expuesta a agentes nocivos

**El ciclo de vida técnico (CVT)**, es el periodo durante el cual un edificio o subsistema, debe de ser capaz de prestar en un porcentaje aceptable, el servicio para el cual se diseñó. **El ciclo de vida de uso (CVU)**, es el periodo de tiempo durante el cual se requiere que un edificio, o subsistema dentro de él, preste un servicio determinado. (ver capítulo 2)

**El reciclaje primario** consiste en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades físicas y químicas prácticamente idénticas a las del material original. **El reciclaje secundario** radica en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades inferiores a las del producto original. **El reciclaje terciario** persigue el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos de materiales mediante su transformación en hidrocarburos. (ver capítulo 2)

**La compatibilidad** radica en cuidar que los elementos no queden expuestos a otros componentes o agentes que puedan afectar de manera negativa sus ciclos de vida técnicos. En el caso particular del acero al carbono, es importante cuidar que éste no quede expuesto de manera directa a humos, vapores industriales u otros agentes altamente corrosivos como la humedad, ya que es un material que se corroe en presencia de un electrolito. En el caso del concreto armado y los muros de mampostería, que estos elementos se encuentren adecuadamente aislados de la humedad.

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
<b>Funcional</b>					
Evitar que su vida útil se afectada por la vida útil de otros componentes	UNA CAPA	100%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de una sola capa funcional	La estructura de esta edificación sólo cumple la función dar soporte al edificio. En muchas ocasiones también es de la envolvente, sin embargo en el caso de estudio presente, la estructura se encuentra recubierta de lambrines de Durock que hacen la función de envolvente, y muros interiores de tablaroca que cumplen con la función de planificación del espacio.	Las capas funcionales de una edificación se resumen en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio: el terreno donde se asienta el edificio.</li> <li>• Estructura: Son los componentes de soporte.</li> <li>• Envolvente: Es el sistema que busca dar protección contra la intemperie.</li> <li>• Servicios: Son todas aquellas instalaciones para el calentamiento, ventilación, aire acondicionado, comunicaciones, etc.</li> <li>• Planificación del espacio: Comprende las particiones interiores.</li> <li>• Equipos móviles: Se refiere al mobiliario.</li> </ul>
	DOS CAPAS	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de dos capas funcional		
	TRES CAPAS	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de tres capas funcional		
	MÁS DE TRES	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de cuatro o más capas funcional		
<b>Técnica</b>					
Evitar que su vida técnica se vea afectada por la vida técnica de otros componentes	MATERIALES	NULO	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar en función de sus distintos materiales.	Este principio aplica para sistemas con conexiones mecánicas, capaces de poderse desensamblar. Ej. Un piso falso. El caso de estudio es una estructura con conexiones soldadas o empotradas lo cual nos habla de una demolición o corte de secciones y no de un desensamblable. Por esta razón es nulo el porcentaje del sistema que puede desensamblarse ya sea tomando como referencia los tipos de materiales o los distintos ciclos de vida	Componentes de construcción hechos de subcomponentes que pueden ser retirados individualmente, permiten la reorganización de estas unidades para adaptarse a nuevos y diferentes diseños. (ver capítulo 4)
	CVU	NULO	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar por CVT distintos		
	C.V.T	NULO	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar por CVU distintos		
<b>Coordinación de ciclos de vida</b>					
Evitar que su ciclo de vida se vea afectado por el ciclo de vida técnica de otros componentes	LIBRE	100%	← Porcentaje del sistema con partes que no requieren para su desensamble el desensamble de partes con ciclos de vida de mayor duración.	La capa estructural, en la mayoría de los casos, es la capa con el mayor ciclo de vida técnico, motivo por el cual se considera que el 100% de sistema -estructura- es "libre" es decir, que no requiere para su desensamble o desmontaje, el desensamble o desmontaje de otros elementos con ciclos de vida más largos.	Es importante considerar la posibilidad de ensamblar primero y desensamblar al final aquellos componentes o materiales que posean CVT más largos y así mismo ensamblar al final y posibilitar un desensamble fácil a aquellos que posean los CVT más cortos. Lo mismo para subsistemas en los que los CVU sean más cortos que los CVT. (ver capítulo 4)
	DEPENDIENTE	0%	← Porcentaje del sistema con partes con ciclos de vida que requieren para su desensamble el desensamble de partes de mayor duración		
<b>Producción</b>					
<b>Industrialización</b>					
<b>Prefabricación</b>					
Evitar desperdicio	PREFAB. SIN AJUSTES	0%	← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial y no requieren de ajustes para su ensamble o colocación en sitio	El porcentaje del sistema compuesto por acero estructural (4%) tuvo una combinación de prefabricación in situ y prefabricación con ajustes ya que se prefabricaron las armaduras y se habilitaron las placas en un taller en obra a partir de elementos prefabricados de manera industrial. En este caso se pone el 4% en el caso más desfavorable ya que finalmente se trata de una	<b>Una prefabricación sin ajustes</b> representa las mayores ventajas ya que detrás de si tiene un proceso industrializado total y no requiere de ajustes para su ensamble o colocación en sitio. Esto trae ventajas que se extienden al momento del desensamble ya que, además, y a causa, de aumentar la calidad de fabricación de componentes o subcomponentes de construcción, y tras llevarse a cabo de manera consistente,
	PREFAB. CON AJUSTES	0%	← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial pero que para su ensamble requieren o colocación en sitio requieren de ajustes.		

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAM M	OPCIONES	% DEL SISTEMA
Evitar desperdicio	PREFAB. IN SITU	4%
	FAB. EN OBRA	96%
	<b>Modulación</b>	
	MATERIAL	98%
Fisonomía	ARQUITEC-TÓNICA	100 %
	<b>Geometría de uniones</b>	
facilitar el desmontaje	PLANA	N/A
	SOLAPA	N/A
	SOLAPA SIM.	N/A
	MACHIMB.	N/A
	CAJA Y ESP.	N/A
Incentivar la reutilización	<b>Renovación</b>	
	MATERIAL	<25%
	MANO DE OBRA	<25%

DESCRIPCIÓN PUNTUAL

- ← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido prefabricadas en obra.
- ← Porcentaje del sistema consta de partes que han sido fabricados en obra.
- ← Porcentaje del sistema prefabricado que consta de partes moduladas de acuerdo a la naturaleza de los materiales que emplean
- ← Porcentaje del sistema prefabricado de manera industrial que consta de partes moduladas de acuerdo al dimensionamiento de los espacios arquitectónicos.
- ← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son planas.
- ← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son del tipo solapa
- ← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son del tipo solapa simétrica
- ← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema machimbradas
- ← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema del tipo caja y espiga
- ← Porcentaje del costo del material que debe invertirse para que las cuestiones de apariencia no impidan la reutilización del sistema. Tomando como 100%el material nuevo.
- ← Porcentaje del costo de mano de obra que debe invertirse para que las cuestiones de apariencia no impidan la reutilización del sistema. Tomando como 100%el material nuevo.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN

otra parte el porcentaje del sistema compuesto a partir de mampostería o concreto (95%) se fabricó en obra. No existió la presencia de muros prefabricados o armaduras prefabricadas de manera industrial

Para el porcentaje del sistema compuesto por acero estructural (4%) se consideró un 79%de modulación en función del material. Esto es tras sacar el promedio de la dimensión de los elementos 4.72. Es interesante observar como esto entra dentro del rango que se le asigna de desperdicio al acero. Para el porcentaje del sistema compuesto a partir de mampostería o concreto (92%) se consideró un 100%ya que es un material en el cual no se puede considerar una dimensión de material virgen. Con respecto a la modulación arquitectónica, tanto los elementos de acero como los de mampostería o concreto, se ajustaron a una modulación ortogonal de 2x1.25 bastante aceptable.

Este principio evalúa la geometría de uniones de conexiones mecánicas. Debido a que las uniones del sistema a evaluar son a base de soldadura o empotradas, es irrelevante su geometría para efectos de desensamble razón por la cual no se asignan valores a dicho principio.

Debido a que el reaprovechamiento de los materiales de la capa estructural de la edificación no se ven afectados por cuestiones estéticas, se puede concluir que la suma de los costos en labores invertidas para lograr que los componentes cumplan estéticamente los requerimientos para un reaprovechamiento es menor al 25%del costo total del componente nuevo.

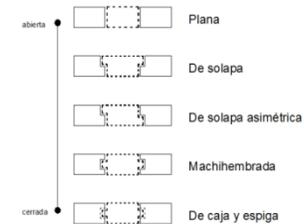
NOTAS RECORDATORIAS

reduce los residuos y tiempos de desconstrucción, agilizando los procesos de revisión de calidad para la reutilización. (ver capítulo 4)

	tmod	tpza	%M rel.	% de inc.	%M pond.
1	1	1	1.0000	0.92	0.920
2	4.78	12	0.7967	0.08	0.064
				<b>TOTAL</b>	<b>0.984</b>

ver capítulo 4

TIPO DE GEOMETRÍA EN UNIONES



Aplica para materiales que su reutilización dependa de su apariencia estética. Este pudiera ser el caso de ventanas, puertas, muebles de baño u otros componentes de la edificación.

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)				DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAM M	OPCIONES	% DEL SISTEMA				
<b>LOGÍSTICA DE DESENSAMBLE</b>						
Labores de desensamblable						
Herramienta y equipo						
fácilitar el desensamblable	<b>Cant. y tipo de herr.</b>	<b>en obra</b>	<b>fuera de obra</b>			
	MANUAL	0%	0%	← Porcentaje del sistema que pueda ser desensamblado manualmente (aplica para elementos pequeños)	Debido a que las uniones son a base de soldadura o empotradas, el porcentaje a desensamblar por medios manuales es 0%. Utilizando herramientas básicas, como cincel y maceta, se puede demoler los muros de mampostería razón por la que con herramienta básica se separa cerca del 54% de los materiales de la estructura. Por último la cantidad de herramienta necesaria es muy baja. Para desmantelar el resto de la estructura se requerirá de equipo básico.	Estos principios evalúan la cantidad y tipo de herramienta y equipo que se requieren para desensamblar o separar (demoler) la estructura. La desconstrucción o desensamblable de un subsistema se da por lo general en dos fases: En obra y fuera de obra La eficacia y efectividad de las labores de desensamblable en obra y fuera de obra se dan en función de tres variables: • La herramienta requerida (en obra y fuera de obra) • El equipo requerido (en obra y fuera de obra) • La cantidad de pasos a seguir (la mano de obra en obra y fuera de obra). Se le considera más importante a la fase de trabajos en obra y con una ponderación secundaria se tratan los trabajos fuera de obra. Esto es porque las labores que se hacen en obra incentivan la práctica del desensamblable y el AMM en una mayor medida y a una escala local, por medio de la auto construcción- auto desconstrucción toda vez que las tareas in situ, el transporte y la gestión de estos subcomponentes se vuelven más sencillas. La cantidad y el tipo de herramienta y equipo, así como los pasos para desensamblar o desmontar una estructura de acero
	H. BÁSICA	54%	0%	← Porcentaje del sistema que pueda ser desensamblado o separado con herramienta básica		
	H. ESPECIAL	0%	0%	← Porcentaje del sistema que requiera de herramienta especial para su desensamblable o separación		
CANTIDAD	MUY BAJA	0%	← Cantidad estimada de herramienta requerida para el desensamblable del sistema			
fácilitar el desmontaje o separación de partes	<b>Cant. y tipo de eq.</b>	<b>en obra</b>	<b>fuera de obra</b>			
	MANUAL	0%	N/A	← Porcentaje del sistema que pueda ser desensamblado manualmente (aplica para elementos pequeños)	Este principio evalúa la cantidad y tipo de equipo que se requiere para desensamblar o separar (demoler) la estructura. La estructura de acero se puede separar por medio de equipo básico, (equipo de oxicotete) y el resto de la estructura de concreto por medio de un rotomartillo. En conjunto la estructura de acero y la de concreto conforman el 46% del sistema a evaluar. Se requiere una cantidad relativamente baja de equipo.	
	EQ. BÁSICO	46%	N/A	← Porcentaje del sistema que pueda ser separado con equipo básico tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia el desensamblable fuera de obra. (aquí se incluyen vehículos para izar elementos pesados-grúas móviles-)		
	EQ. ESPECIAL	0%	N/A	← Porcentaje del sistema que tenga que ser demolido, o bien, que requiera de equipo especial para su separación tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia la separación fuera de obra. ( aquí deben considerarse, entre otros, arías torre.)		
CANTIDAD	BAJA	N/A	← Cantidad de equipo requerido para el desensamblable del sistema tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia el desensamblable fuera de obra.			
Pasos para el desensamblable	<b>en obra</b>	<b>fuera de Obra</b>				
	DES < DEM	0%	N/A	← Porcentaje del sistema que requiera para su desensamblable una cantidad moderada de pasos que en suma no supere el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombros	Debido a que las uniones son a base de soldadura o empotradas, el único procedimiento para separar los distintos materiales de la estructura es vía la demolición. Por este motivo no se puede comparar el desensamblable con la demolición de la estructura. Bajo esta lógica, se	Bajo este subconcepto, se analizan la cantidad de pasos a seguir y por consiguiente la cantidad de partes en las que deba de ser desensamblado el subsistema, tanto en obra como fuera de obra, a fin de que sea reaprovechable bajo una estrategia previamente definida.

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)				DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA		DESCRIPCIÓN PUNTUAL	EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
facilitar el desmontaje o separación de partes	DES = DEM	100%	N/A	Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una cantidad moderada de pasos que en suma requiera un tiempo similar al requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombros	considera que para el 100% del sistema la suma de las labores de desensamble implican tiempos y costos similares a aquellas labores de demolición y retiro de escombros.	Este aspecto se refiere a la cantidad de pasos que se necesitan para dejar partes maniobrables y componentes flexibles altamente re aprovechables evitando que estas tareas sobrepasen los costos y tiempos de un reemplazo o vertido, lo cual, para subsistemas complejos solo será posible mediante la adecuada clústerización, en donde a la inversa de una prefabricación industrializada, se logre un desensamble industrializado, es decir, en las dos fases ya antes mencionadas.
	DES > DEM	0%	N/A	Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una gran cantidad de pasos que en suma superan notablemente el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombros		
<b>Planeación</b>						
facilitar el desmontaje o separación de partes	<b>Proyecto</b>					
	PLANOS	TOTAL		← Planos para la desconstrucción y mantenimiento. Pueden servir los planos arquitectónicos completos	Tal como se muestra en páginas anteriores, el proyecto cuenta con planos claros sobre la estructura y detalles de las conexiones. Carece de un manual que contemple una estrategia o logística para las labores de desensamble o mantenimiento.	Para llevar a cabo una desconstrucción adecuada es recomendable proveer a manera de planos para la desconstrucción y mantenimiento, un registro incluyendo la identificación de los puntos de desensamble del componente o material. Para el caso de estructuras en acero, se debe anexar información a los planos de anclas, de fabricación y de montaje, o bien elaborar por separado, planos con información para el desensamble que incluyan esquemas con las propiedades estructurales clave, la localización del cableado, detalles de las conexiones y estrategias de desconstrucción.
	ESTRUCTURA	TOTAL		← Esquemas con las propiedades estructurales		
	DETALLES	TOTAL		← Detalles de las conexiones		
	ESTRATEGIA	NULO		← Estrategia para la desconstrucción.		
LOGÍSTICA	NULO		← Planeación de sitios de descarga de materiales o retiro de los mismos			
facilitar el desmontaje o separación de partes e incentivar la reutilización	<b>Información</b>					
	VIDA DE USO	NULO		← Cantidad de información que se tiene respecto a la vida de uso esperada del sistema	El proyecto no incluyó anexos con información sobre la vida de uso, origen, recomendaciones para la manipulación de los elementos del sistema, recuperación y/o planeación de uso futuro de los mismos.	Anexo a los planos, se debe contar con información específica de: elementos, componentes y materiales, sobre la vida de uso esperada de cada uno de ellos, su peso, sitio, año y compañía de producción, recomendaciones para su manipulación y su estrategia de recuperación, incluyendo por consiguiente una planeación para el uso futuro de las partes, especificando los elementos de construcción, componentes, subcomponentes y materiales que son recuperables y que pueden ser reutilizados o que tienen cabida dentro de cualquier estrategia de gestión de residuos (reparación, restauración, reutilización, canibalización o reciclaje).
	ORIGEN	PARCIAL		← Cantidad de información que se tiene respecto al sitio, año y compañía de producción de los elementos del sistema		
	MANIPULACIÓN	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a las recomendaciones para la manipulación de los elementos del sistema		
	RECUPERACIÓN	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a posibles estrategias para la recuperación de los elementos del sistema		
VIDA FUTURA	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a la planeación de uso futuro de las partes del sistema			
facilitar el desmontaje o separación de partes	<b>accesibilidad</b>					
	CLARIDAD	PARCIAL		← Que tan claros y obvios son los puntos de acceso a las uniones.	Se considera que los puntos de acceso y uniones son parcialmente claras y obvias, pues los lambrines y plafones no permiten ver con precisión donde se ubican. El equipo de seguridad necesario para las labores de desmantelamiento o mantenimiento es parcial, ya que la estructura no cuenta con circulaciones que den acceso a los distintos puntos de la misma; se requiere de andamios, cuerdas de vida etc. para realizar estas labores. En relación a la altura, este es total, pues no existen puntos	Un subsistema o componente de construcción tendrá una buena accesibilidad si son claros y obvios los puntos de desensamble, en especial para las partes más valiosas, si es seguro llegar a ellos y existe el suficiente espacio para acceder de manera cómoda, proporcionando tolerancias realistas que permitan el movimiento durante el desmantelamiento o mantenimiento.
	SEGURIDAD	PARCIAL		← Cuanto equipo de seguridad se requiere para efectuar labores de separación		
HOLGURA	TOTAL		← Que tan fácil es acceder a los puntos de desensamble			

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAM M	OPCIONES	% DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
<b>TIPO DE INFORMACIÓN</b>					
<b>Ciclos de Vida útil</b>					
	Científica	0%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida de uso del sistema	Tal y como se comentó en el capítulo 4, cualquier intento por determinar un periodo aproximado promedio esperado de vida de los edificios al momento de ser resultados vagos y poco concretos sin embargo existen opiniones de parte de expertos en la materia, basadas en sus propios estudios y citadas en el capítulo 4. Por esta razón se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el ciclo de vida técnico es de carácter empírico. Por otra parte, en relación al ciclo de vida de uso, este responde a una cantidad más amplia de factores que vuelven aún más difícil lograr una predicción sobre su duración y en este respecto, los comentarios hechos por expertos en la materia son meramente opiniones. Por esta razón se considera que el conocimiento que se tiene en este aspecto es a través de la vox populi.	Considerando que algunos parámetros que influyen en la obtención del coeficiente de aprovechamiento de materiales son difíciles o incluso imposibles de determinar con exactitud, introdujo como una variable de la interfaz gráfica de usuario, el tipo de información que se tiene de distintas cuestiones previamente evaluadas. Para alimentar esta variable se dan cuatro opciones generales: Científica, Empírica, Vox pópulli, y Nula. A continuación se describe el criterio de clasificación de cada una de ellas:
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida de uso del sistema		
	Vox populli	100%	← Porcentaje de información que solo se sabe por "vox populli" sobre los ciclos de vida de uso del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre los ciclos de vida de uso, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Ciclos de Vida técnicos</b>					
	Científica	0%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida técnicos del sistema	En relación a la compatibilidad entre los materiales, existen estudios, resumidos en el ANEXO 17 sobre los materiales. y lo que puede deteriorar al concreto o al acero, materiales del sistema a evaluar. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales es de tipo científica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento científico sobre "x": Se considera así cuando se tiene información sobre "x" basada en experimentos científicos y publicada en alguna fuente reconocida.</li> <li>• Conocimiento empírico sobre "x": Se considera así cuando se tiene información sobre "x" basada en publicaciones reconocidas. Pueden caer dentro de esta categoría opiniones o conocimiento de un experto en la materia sin existir detrás de si un proceso rigurosamente experimental y científico.</li> <li>• Conocimiento a base de vox populli sobre "x" se considera cuando solo se sabe algo por lo que comúnmente se ha considerado aceptable. Cuando lo único que se tiene es una opinión consensada. Dicho tipo de conocimiento es casi equivalente a asignar "nulo" conocimiento sobre "x" ya que en ocasiones puede resultar muy engañoso lo que se conoce popularmente, sin embargo, una gran cantidad de cuestiones dentro de la construcción carecen de sustento documentado y es por este motivo que se debe asignar cierto valor a este tipo de conocimiento.</li> <li>• Conocimiento nulo sobre "x" se asigna cuando no se tienen datos ni una opinión consensada sobre "x".</li> </ul>
	Empírica	100%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por "vox populli" sobre los ciclos de vida técnicos del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre los ciclos de vida técnicos, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Compatibilidad entre materiales</b>					
	Científica	100%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales del sistema	En relación al reciclaje entre los materiales, también en el ANEXO 17 se hace un resumen sobre las cuestiones de reciclaje y reutilización sobre los materiales empleados en el caso de estudio. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el reciclaje o reutilización de estos materiales ampliamente utilizados en la industria de la construcción también es de carácter científico.	
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales del sistema		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por "vox populli" sobre la compatibilidad de los materiales del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre la compatibilidad de los materiales, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Reciclaje y reutilización de Materiales</b>					
	Científica	100%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema	En relación al reciclaje entre los materiales, también en el ANEXO 17 se hace un resumen sobre las cuestiones de reciclaje y reutilización sobre los materiales empleados en el caso de estudio. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el reciclaje o reutilización de estos materiales ampliamente utilizados en la industria de la construcción también es de carácter científico.	
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por "vox populli" sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre el reaprovechamiento de los materiales, que se desconoce por completo del sistema		

>5.4.1.5 Resultados las evaluación

Una vez introducidos los valores de la matriz en el modelo de evaluación, se obtiene un coeficiente de aprovechamiento resultante de 0.51198.

A través de la gráfica que proporciona la interfaz podemos darnos cuenta de cuáles son los principios que afectan de manera negativa el resultado final:

“separación técnica”, “reutilización”, “industrialización”, “información”. Estos a su vez afectan a otros como “cantidad y tipo de equipo para separar las partes” entre otros.

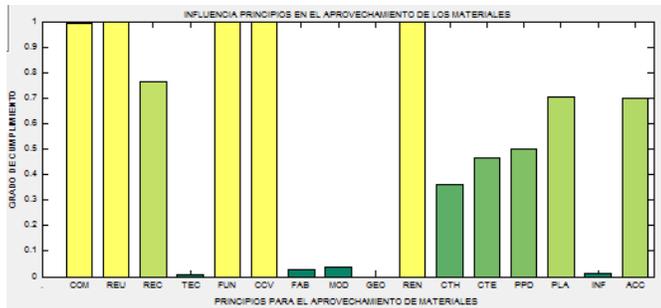


Ilustración 70 Resultado de primer evaluación

Ahora, si en este mismo caso de estudio, las uniones en los elementos metálicos fueran mecánicas, valdría la pena ver que tanto mejoraría el coeficiente de AMM. El resultado de dicho escenario nos da: 0.53314 Como se puede observar, el valor es ligeramente mayor, esto es debido a que la mayor parte de la estructura se encuentra hecha a base de otros materiales con características poco favorables.

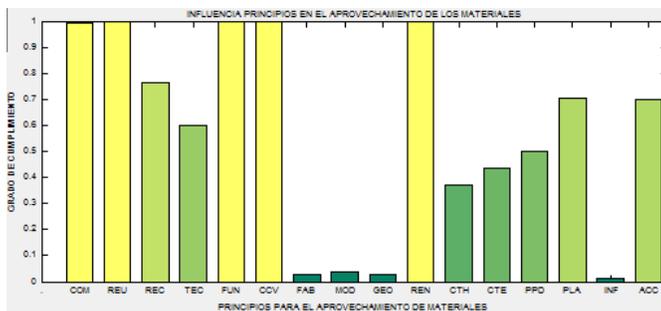


Ilustración 71 Resultados de segunda evaluación

El no contar con información sobre el ciclo de vida de uso y técnica esperada de los componentes es otro factor que implica un detrimento en el resultado final, y finalmente, la carencia de un plan de acción para el reaprovechamiento de los materiales es otra cuestión carente en el caso de estudio.

>5.4.2 Caso de estudio 2

>5.4.2.1 Ubicación

El segundo caso de estudio se encuentra ubicado en la calle Nogal #70 en la colonia San José de los Cedros dentro de la delegación Cuajimalpa, al sur de la ciudad de México, en los límites con el estado de México.



Ilustración 72 Ubicación Macro de caso de estudio 2

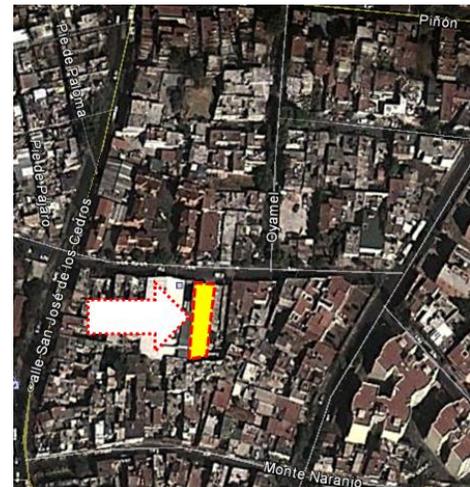
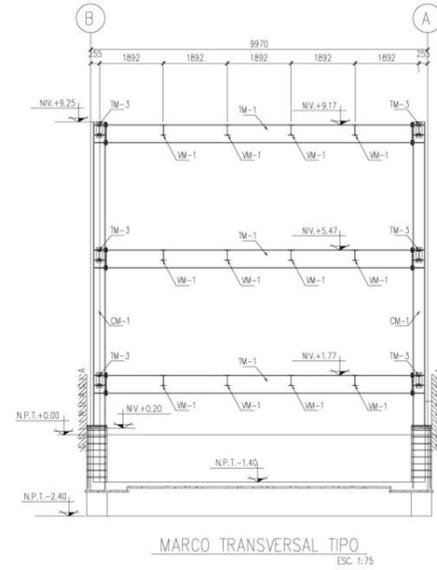
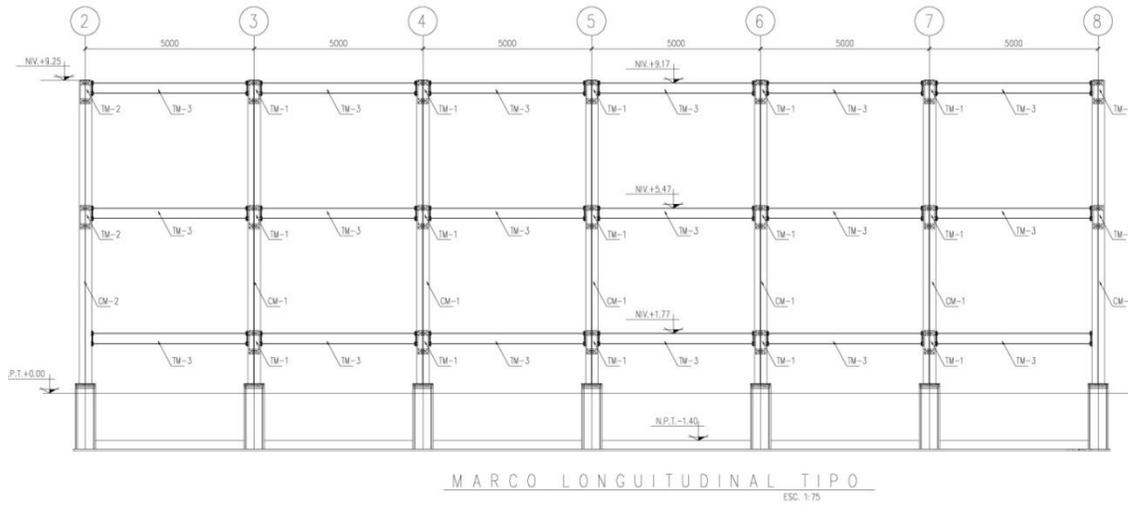
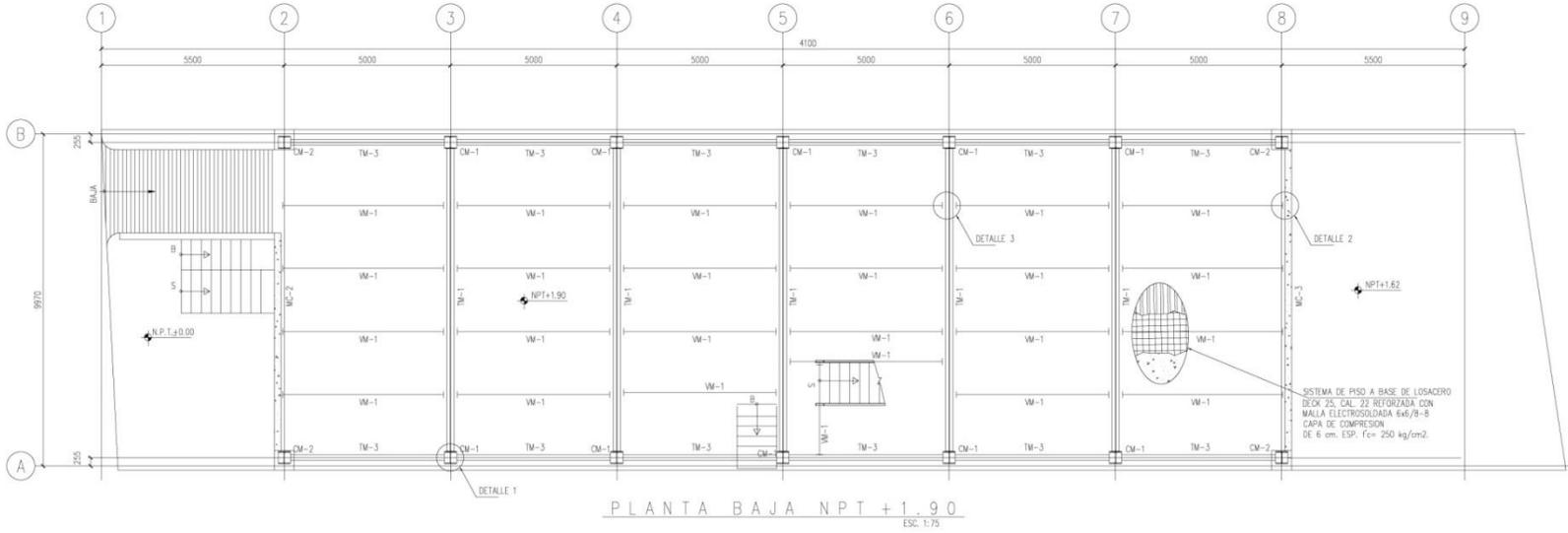


Ilustración 73 Ubicación micro, de caso de estudio 2

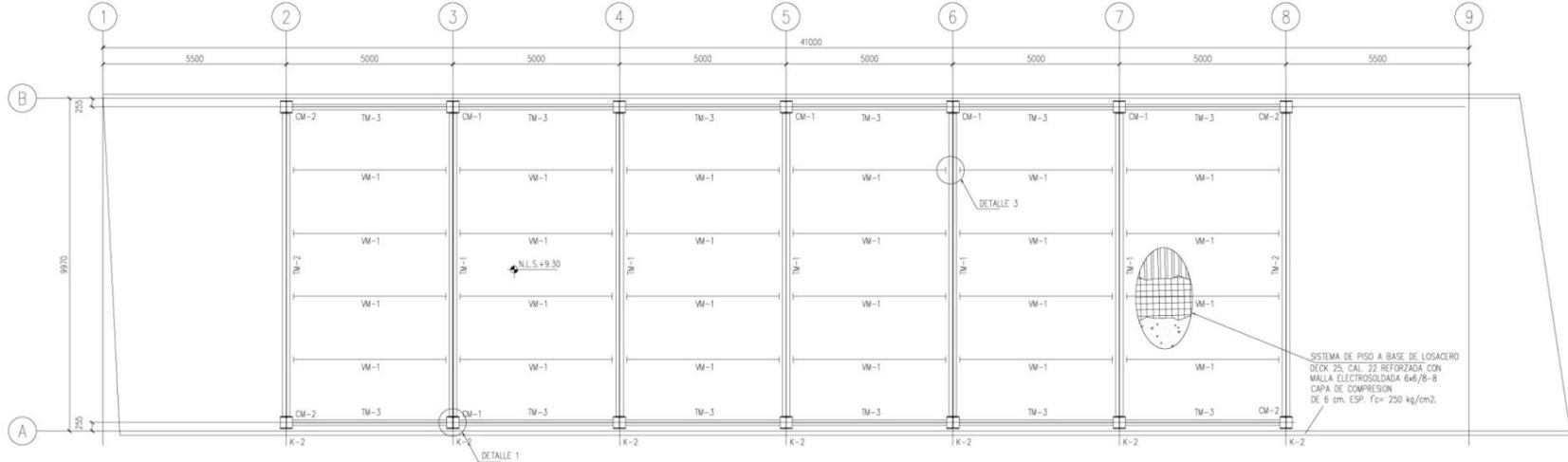


Ilustración 74 Caso de estudio 2

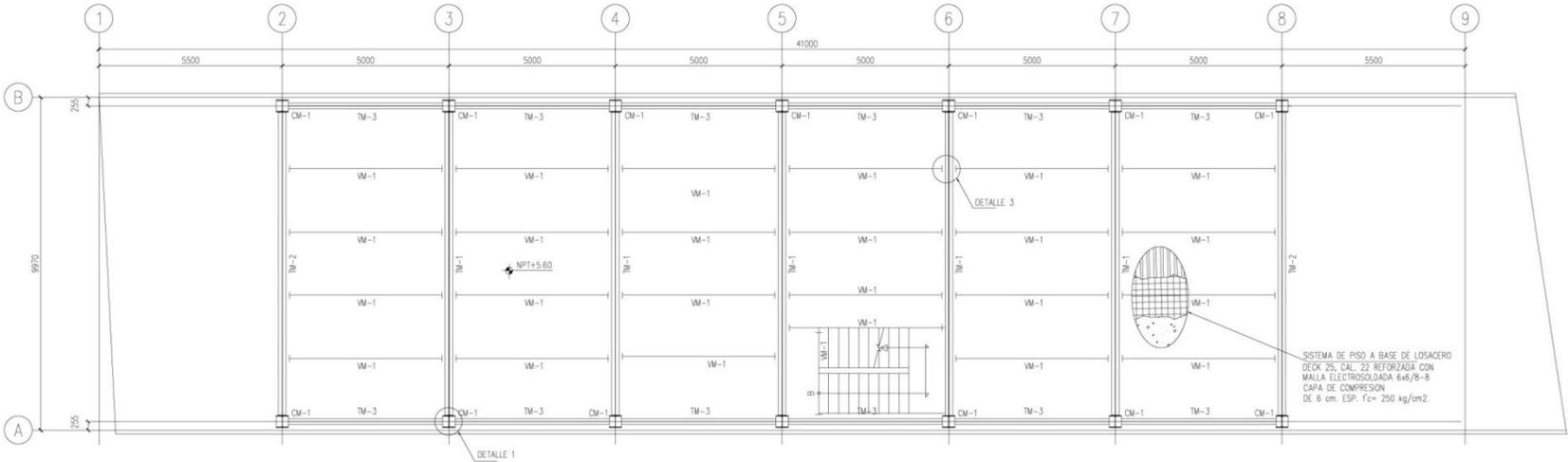
>5.4.2.2 Planos de proyecto



Planta Baja, Marco Longitudinal Tipo y Marco Transversal Tipo  
s/e

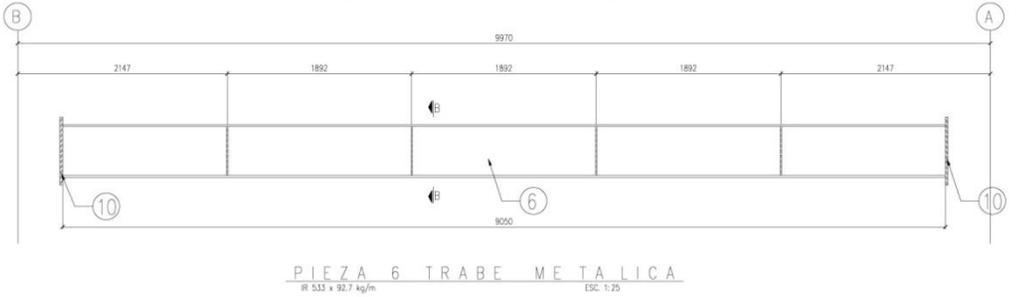
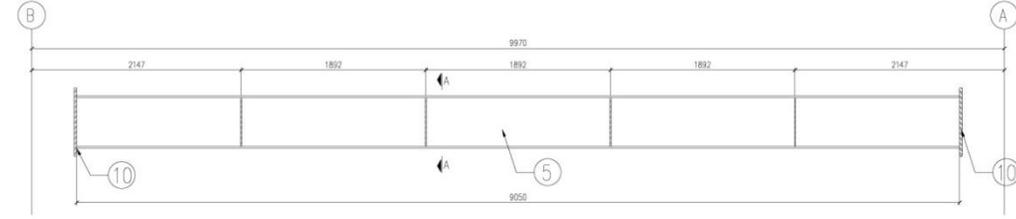
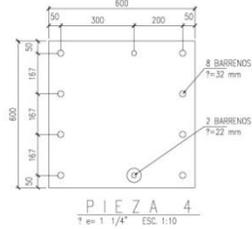
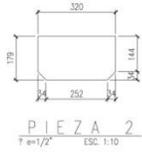
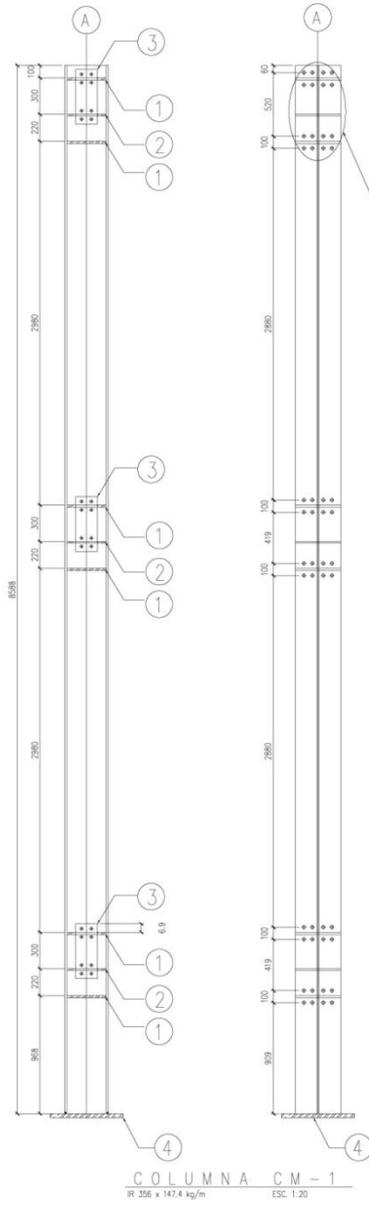


PLANTA AZOTEA NPT + 9.30  
ESC. 1:75



PLANTA ALTA NPT + 5.60  
ESC. 1:75





>5.4.2.3 Imágenes de proceso constructivo de caso de estudio 2



Ilustración 75 Vista general de la estructura



Ilustración 77 Detalle de conexión Trabe-Viga



Ilustración 76 Detalle de conexión Columna-Trabe



Ilustración 78 Detalle de conexión Viga-Columna



Ilustración 79 Personal atornillando trabe a columna

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES**



Ilustración 80 Detalle de conexión Columna-Cimentación



Ilustración 82 Personal en fabricación de placa base



Ilustración 81 Detalle de Placa Base



Ilustración 83 Elementos prefabricados listos para ensamblar

**>5.4.2.4      Cuantificación de materiales de la capa estructural**

CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN EL CASO DE ESTUDIO 2												
			PESO VOL.	PZAS EXTRAS	LARGO	ÁREA / CANT.	CANT. POR EJE	U.	CANT. DE EJES	PESO TOTAL EN KG.	SUMATORIAS EN KG	% DE INCIDENCIA
<b>ESTRUCTURA DE ACERO</b>												
<b>Columnas</b>												
CM- 1	IR 356		147.00 kg/m	0	8.588	-	2	m	5	12,624.36		22%
<b>Trabes</b>												
TM- 1	IR 533		108.90 kg/m	0	9.05	-	3	m	5	14,783.18		43%
TM- 2	IR 533		92.70 kg/m	0	9.05	-	2	m	2	3,355.74		
TM- 3	IR 305		44.50 kg/m	0	4.55	-	18	m	2	7,289.10		
<b>Vigas</b>												
VM- 1	IR 305		44.50 kg/m	4	4.97	-	15	m	4	14,154.56		27%
VM- 1	IR 305		44.50 kg/m	0	5.07	-	2	m	4	1,804.92		
<b>Placas</b>												
1	3/4"		149.40 kg/m2	-	-	0.06	12	m2	5	537.84		
2	1/2"		99.60 kg/m2	-	-	0.06	6	m2	5	179.28		
3	3/4"		149.40 kg/m2	-	-	0.08	12	m2	5	717.12		
4	1 1/4"		249.00 kg/m2	-	-	0.36	2	m2	5	896.40		
10	1"		199.20 kg/m2	8	-	0.21	6	m2	5	1,589.62		
11	3/8"		74.70 kg/m2	-	-	0.05	24	m2	6	537.84		
12	3/8"		74.70 kg/m2	-	-	0.05	8	m2	2	59.76		
<b>SUBTOTAL</b>											<b>58,529.71</b>	<b>100%</b>
<b>GRAN TOTAL</b>											<b>58,529.71</b>	<b>100%</b>

>5.4.2.3 Matriz de valorización de los elementos de construcción, caso de estudio dos

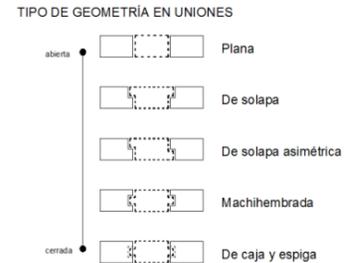
MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAM M	OPCIONES	% DEL SISTEMA A	DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
<b>SUBSISTEMAS</b>					
<b>Materiales</b>					
<b>Re- aprovechamiento</b>					
<b>Reutilización</b>					
Posibilitar/ incrementar un re- aprovechamiento vía la reutilización	CVT > CVU	100%	← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos mayores que sus propios ciclos de vida de uso.	Tomando como referencia lo citado en el capítulo cuatro, punto 4.2.1.2 y en el punto 1.4 del capítulo uno, se puede concluir que la vida técnica de la estructura, en condiciones normales, no es inferior a los cincuenta años, mientras que los ciclos de vida de uso gira alrededor de los 20 años. Por ende se asigna que el 100% de la estructura tiene un ciclo de vida técnico mayor a su posible ciclo de vida de uso.	<b>El ciclo de vida técnico (CVT)</b> , es el periodo durante el cual un edificio o subsistema, debe de ser capaz de prestar en un porcentaje aceptable, el servicio para el cual se diseñó. <b>El ciclo de vida de uso (CVU)</b> , es el periodo de tiempo durante el cual se requiere que un edificio, o subsistema dentro de él, preste un servicio determinado. (ver capítulo 2)
	CVT ≈ CVU	0%	← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos similares a sus propios ciclos de vida de uso.		
	CVT < CVU	0%	← Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos menores que sus propios ciclos de vida de uso.		
<b>Reciclaje</b>					
Posibilitar/ incrementar un re- aprovechamiento vía el reciclaje	PRIMARIO	100%	← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel primario	Tomando como referencia lo citado en el capítulo cuatro, punto 4.2.1.1 y el ANEXO 18 se concluye que, debido a que el 100% de la capa estructural esta hecha a base de acero y a que éste es un material reciclable a nivel primario, entonces el 100% del sistema evaluado es reciclable a nivel primario.	<b>El reciclaje primario</b> consiste en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades físicas y químicas prácticamente idénticas a las del material original. <b>El reciclaje secundario</b> radica en convertir el producto de desecho en artículos con propiedades inferiores a las del producto original. <b>El reciclaje terciario</b> persigue el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos de materiales mediante su transformación en hidrocarburos. (ver capítulo 2)
	SECUNDARIO	0%	← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel secundario		
	TERCIARIO	0%	← Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel terciario		
	NULO	0%	← Porcentaje del sistema con materiales que no pueden ser reciclados		
<b>Compatibilidad</b>					
Incrementar su vida técnica	NEUTRO	100%	← Porcentaje del sistema con materiales que no presentan un desgaste intenso por estar en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos	En estructuras, el caso "neutro" se presenta en casos en los que la estructura se encuentra aislada de agentes nocivos externos y con conexiones de un solo tipo de material. Dado que la estructura del caso de estudio se encuentra adecuadamente pintada y no expuesta a humos, vapores industriales u otros agentes nocivos provenientes del medio ambiente o de las conexiones propias de la estructura, se considera que la condición de compatibilidad en el sistema es "neutra" y solo existe un deterioro gradual en las conexiones, que representan cerca del 1% de la estructura. El caso de deterioro intenso en estructuras de acero se presentaría en aquellas estructuras con un recubrimiento deficiente y expuesta a agentes nocivos	<b>La compatibilidad</b> radica en cuidar que los elementos no queden expuestos a otros componentes o agentes que puedan afectar de manera negativa sus ciclos de vida técnicos. En el caso particular del acero al carbono, es importante cuidar que éste no quede expuesto de manera directa a humos, vapores industriales u otros agentes altamente corrosivos como la humedad, ya que es un material que se corroe en presencia de un electrolito. En el caso del concreto armado y los muros de mampostería, que estos elementos se encuentren adecuadamente aislados de la humedad.
	DET. GRADUAL	0%	← Porcentaje del sistema con materiales que tienen un desgaste gradual, en donde la vida técnica va disminuyendo de manera similar y proporcional a la vida de uso, debido a que están en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos de manera recurrente		
	DET. INTENSO	0%	← Porcentaje del sistema con materiales que tienen un desgaste intenso, en donde la vida técnica disminuye de manera mucho más aceleradamente que la vida de uso, debido a que están en contacto con otros o con agentes climáticos nocivos de manera constante		
<b>Estratificación adecuada</b>					
<b>Separación de capas</b>					

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
Evitar que su vida útil se afectada por la vida útil de otros componentes	<b>Funcional</b>				
	UNA CAPA	100%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de una sola capa funcional	La estructura de esta edificación sólo cumple la función dar soporte al edificio. En muchas ocasiones también es parte de la envolvente, sin embargo en el caso de estudio presente, la envolvente se conforma a base de muros de block tal como se muestra en el corte A-A de la lámina de detalle de conexiones.	Las capas funcionales de una edificación se resumen en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio: el terreno donde se asienta el edificio.</li> <li>• Estructura: Son los componentes de soporte.</li> <li>• Envolvente: Es el sistema que busca dar protección contra la intemperie.</li> <li>• Servicios: Son todas aquellas instalaciones para el calentamiento, ventilación, aire acondicionado, comunicaciones, etc.</li> <li>• Planificación del espacio: Comprende las particiones interiores.</li> <li>• Equipos móviles: Se refiere al mobiliario.</li> </ul>
	DOS CAPAS	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de dos capas funcional		
	TRES CAPAS	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de tres capas funcional		
	MÁS DE TRES	0%	← Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de cuatro o más capas funcional		
<b>Técnica</b>					
Evitar que su vida técnica se vea afectada por la vida técnica de otros componentes	MATERIALES	TOTAL	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar en función de sus distintos materiales.	La totalidad del sistema estructural está compuesta por un solo material, -columnas, traveses y conexiones son de acero- por ello el ciclo de vida de uso y técnico de los componentes puede considerarse como igual. En tal caso, como no hay materiales, o ciclos de vida distintos, se considera que es Total la separación.	Componentes de construcción hechos de subcomponentes que pueden ser retirados individualmente, permiten la reorganización de estas unidades para adaptarse a nuevos y diferentes diseños. (ver capítulo 4)
	CVU	TOTAL	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar por CVT distintos		
	C.V.T	TOTAL	← Porcentaje del sistema desensamblable por medios manuales o mecánicos, que es posible separar por CVU distintos		
Evitar que su ciclo de vida se vea afectado por el ciclo de vida técnica de otros componentes	<b>Coordinación de ciclos de vida</b>				
	LIBRE	100%	← Porcentaje del sistema con partes que no requieren para su desensamble el desensamble de partes con ciclos de vida de mayor duración.	La capa estructural, en la mayoría de los casos, es la capa con el mayor ciclo de vida técnico, motivo por el cual se considera que el 100% de sistema -estructura- es "libre" es decir, que no requiere para su desensamble o desmontaje, el desensamble o desmontaje de otros elementos con ciclos de vida más largos.	Es importante considerar la posibilidad de ensamblar primero y desensamblar al final aquellos componentes o materiales que posean CVT más largos y así mismo ensamblar al final y posibilitar un desensamble fácil a aquellos que posean los CVT más cortos. Lo mismo para subsistemas en los que los CVU sean más cortos que los CVT. (ver capítulo 4)
	DEPENDIENTE	0%	← Porcentaje del sistema con partes con ciclos de vida que requieren para su desensamble el desensamble de partes de mayor duración		
<b>Producción</b>					
<b>Industrialización</b>					
Evitar desperdicio	<b>Prefabricación</b>				
	PREFAB. SIN AJUSTES	92%	← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial y no requieren de ajustes para su ensamble o colocación en sitio	El 92% de la estructura lo conforman columnas, traveses y vigas, elementos todos prefabricados fuera del lugar de la obra. El restante 8% de la estructura lo conforman las placas, mismas que han sido prefabricadas, pero a las cuales ha sido necesario hacerle agujeros u algún otro tipo de ajuste, en obra.	<b>Una prefabricación sin ajustes</b> representa las mayores ventajas ya que detrás de si tiene un proceso industrializado total y no requiere de ajustes para su ensamble o colocación en sitio. Esto trae ventajas que se extienden al momento del desensamble ya que, además, y a causa, de aumentar la calidad de fabricación de componentes o subcomponentes de construcción, y tras llevarse a cabo de manera consistente,
	PREFAB. CON AJUSTES	8%	← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial pero que para su ensamble requieren o colocación en sitio requieren de ajustes.		

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		NOTAS RECORDATORIAS
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN PUNTUAL		
Evitar desperdicio	PREFAB. IN SITU	0%	← Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido prefabricadas en obra.	De acuerdo con la tabla para la evaluación del porcentaje de modulación y con los porcentajes de incidencia de cada componente, se obtuvo un valor de 70% para el porcentaje de modulación. Por otra parte se consideró un 100% para la modulación arquitectónica ya que los elementos de acero se ajustaron a una modulación ortogonal acorde con el espacio	reduce los residuos y tiempos de desconstrucción, agilizando los procesos de revisión de calidad para la reutilización. (ver capítulo 4)
	FAB. EN OBRA	0%	← Porcentaje del sistema consta de partes que han sido fabricados en obra.		
	<b>Modulación</b>				
	MATERIAL	71%	← Porcentaje del sistema prefabricado que consta de partes moduladas de acuerdo a la naturaleza de los materiales que emplean		
	ARQUITEC - TÓNICA	100%	← Porcentaje del sistema prefabricado de manera industrial que consta de partes moduladas de acuerdo al dimensionamiento de los espacios arquitectónicos.		
<b>Fisonomía</b>					
facilitar el desmontaje	<b>Geometría de uniones</b>			Se considero un un 73 %del sistema con geometría plana ya que corresponde a las columnas, traves y placas. El restante 27%corresponde a las vigas, ya que tal y como se muestra en la ilustración de detalle conexión viga-trabe, estas no terminan de manera plana, sino que tienen un ajuste tipo solapa, para poder ser conectadas con las traves.	TIPO DE GEOMETRÍA EN UNIONES 
	PLANA	73%	← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son planas.		
	SOLAPA	27%	← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son del tipo solapa		
	SOLAPA SIM.	0%	← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema que son del tipo solapa simétrica		
	MACHIMB.	0%	← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema machimbradas		
	CAJA Y ESP.	0%	← Porcentaje de conexiones mecánicas en el sistema del tipo caja y espiga		
Incentivar la reutilización	<b>Renovación</b>			Debido a que el reaprovechamiento de los materiales de la capa estructural de la edificación no se ven afectados por cuestiones estéticas, se puede concluir que la suma de los costos en labores invertidas para lograr que los componentes cumplan estéticamente los requerimientos para un reaprovechamiento es menor al 25%del costo total del componente nuevo.	Aplica para materiales que su reutilización dependa de su apariencia estética. Este pudiera ser el caso de ventanas, puertas, muebles de baño u otros componentes de la edificación.
	MATERIAL	< 25%	← Porcentaje del costo del material que debe invertirse para que las cuestiones de apariencia no impidan la reutilización del sistema. Tomando como 100%el material nuevo.		
	MANO DE OBRA	< 25%	← Porcentaje del costo de mano de obra que debe invertirse para que las cuestiones de apariencia no impidan la reutilización del sistema. Tomando como 100%el material nuevo.		

	tmod	tpza	%M rel.	% de inc.	%M pond.
1	8.52	12	0.7100	0.22	0.156
2	9.05	12	0.7542	0.31	0.234
3	4.55	12	0.7583	0.12	0.091
4	4.97	12	0.8283	0.24	0.199
5	5.07	12	0.8450	0.03	0.025
				<b>TOTAL</b>	<b>0.705</b>

ver capítulo 4



Aplica para materiales que su reutilización dependa de su apariencia estética. Este pudiera ser el caso de ventanas, puertas, muebles de baño u otros componentes de la edificación.

LOGÍSTICA DE DESENSAMBLE			
Labores de desensamble			
Herramienta y equipo			
fácilitar el desensamble	Cant. y tipo de herr.	en obra	fuera de obra
	MANUAL	0%	0%
	H. BÁSICA	0%	0%
	H. ESPECIAL	0%	0%
	CANTIDAD	0%	0%
fácilitar el desmontaje o separación de partes	Cant. y tipo de eq.	en obra	fuera de obra
	MANUAL	0%	N/A
	EQ. BÁSICO	100%	N/A
	EQ. ESPECIAL	0%	N/A
	CANTIDAD	MUY BAJA	N/A
Pasos para el desensamble	Pasos para el desensamble	en obra	fuera de Obra
	DES < DEM	100%	N/A

← Porcentaje del sistema que pueda ser desensablado manualmente (aplica para elementos pequeños)  
 ← Porcentaje del sistema que pueda ser desensablado o separado con herramienta básica  
 ← Porcentaje del sistema que requiera de herramienta especial para su desensamble o separación  
 ← Cantidad estimada de herramienta requerida para el desensamble del sistema

← Porcentaje del sistema que pueda ser desensablado manualmente (aplica para elementos pequeños)  
 ← Porcentaje del sistema que pueda ser separado con equipo básico tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia el desensamble fuera de obra. (aquí se incluyen vehículos para izar elementos pesados-grúas móviles-)  
 ← Porcentaje del sistema que tenga que ser demolido, o bien, que requiera de equipo especial para su separación tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia la separación fuera de obra. (aquí deben considerarse, entre otros, grúas torre.)  
 ← Cantidad de equipo requerido para el desensamble del sistema tanto en obra como fuera de obra. Se beneficia el desensamble fuera de obra.

← Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una cantidad moderada de pasos que en suma no supere el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombro

A pesar de contar con uniones mecánicas, las dimensiones y el peso de los elementos del sistema impiden que éste, o parte de éste, pueda ser desensablado utilizando únicamente herramienta. Se requiere de grúas para el izaje de los elementos tal y como se muestra en la ilustración "vista general de la estructura". Por ello se le asignó un valor de "0" para el porcentaje de sistema que puede ser desensablado con cualquier tipo de herramienta.

Este principio evalúa la cantidad y tipo de equipo que se requiere para desensamblar o separar (demoler) la estructura. La estructura de acero se puede separar por medio de equipo básico, (equipo de oxicorte) y el resto de la estructura de concreto por medio de un rotomartillo. En conjunto la estructura de acero y la de concreto conforman el 46% del sistema a evaluar. Se requiere una cantidad relativamente baja de equipo.

El sistema evaluado en este caso de estudio presenta conexiones mecánicas. Este tipo de conexiones resulta más fácil desensamblarlas que cortarlas. Por ello se consideró que el 100% del sistema resulta más fácil desmantelarlo en obra que demolerlo.

Estos principios evalúan la cantidad y tipo de herramienta y equipo que se requieren para desensamblar o separar (demoler) la estructura. La desconstrucción o desensamble de un subsistema se da por lo general en dos fases: En obra y fuera de obra

La eficacia y efectividad de las labores de desensamble en obra y fuera de obra se dan en función de tres variables:

- La herramienta requerida (en obra y fuera de obra)
- El equipo requerido (en obra y fuera de obra)
- La cantidad de pasos a seguir (la mano de obra en obra y fuera de obra).

Se le considera más importante a la fase de trabajos en obra y con una ponderación secundaria se tratan los trabajos fuera de obra. Esto es porque las labores que se hacen en obra incentivan la práctica del desensamble y el AMM en una mayor medida y a una escala local, por medio de la auto construcción-auto desconstrucción toda vez que las tareas in situ, el transporte y la gestión de estos subcomponentes se vuelven más sencillas.

La cantidad y el tipo de herramienta y equipo, así como los pasos para desensamblar o demontar una estructura de acero

Bajo este subconcepto, se analizan la cantidad de pasos a seguir y por consiguiente la cantidad de partes en las que deba de ser desensablado el subsistema, tanto en obra como fuera de obra, a fin de que sea reaprovechable bajo una estrategia previamente definida.

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)				DESCRIPCIÓN PUNTUAL	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAMM	OPCIONES	% DEL SISTEMA				
facilitar el desmontaje o separación de partes	DES ≈ DEM	0%	N/A	← Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una cantidad moderada de pasos que en suma requiera un tiempo similar al requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombros		Este aspecto se refiere a la cantidad de pasos que se necesitan para dejar partes maniobrables y componentes flexibles altamente re aprovechables evitando que estas tareas sobrepasen los costos y tiempos de un reemplazo o vertido, lo cual, para subsistemas complejos solo será posible mediante la adecuada clústerización, en donde a la inversa de una prefabricación industrializada, se logre un desensamble industrializado, es decir, en las dos fases ya antes mencionadas.
	DES > DEM	0%	N/A	← Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una gran cantidad de pasos que en suma superan notablemente el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombros		
<b>Planeación</b>						
facilitar el desmontaje o separación de partes	<b>Proyecto</b>					
	PLANOS	TOTAL		← Planos para la desconstrucción y mantenimiento. Pueden servir los planos arquitectónicos completos	Tal como se muestra en páginas anteriores, el proyecto cuenta con planos claros sobre la estructura y detalles de las conexiones. Carece de un manual que contemple una estrategia o logística para las labores de desensamble o mantenimiento.	Para llevar a cabo una desconstrucción adecuada es recomendable proveer a manera de planos para la desconstrucción y mantenimiento, un registro incluyendo la identificación de los puntos de desensamble del componente o material. Para el caso de estructuras en acero, se debe anexar información a los planos de anclas, de fabricación y de montaje, o bien elaborar por separado, planos con información para el desensamble que incluyan esquemas con las propiedades estructurales clave, la localización del cableado, detalles de las conexiones y estrategias de desconstrucción.
	ESTRUCTURA	TOTAL		← Esquemas con las propiedades estructurales		
	DETALLES	TOTAL		← Detalles de las conexiones		
	ESTRATEGIA	NULO		← Estrategia para la desconstrucción.		
LOGÍSTICA	NULO		← Planeación de sitios de descarga de materiales o retiro de los mismos			
facilitar el desmontaje o separación de partes e incentivar la reutilización	<b>Información</b>				El proyecto no incluyó anexos con información sobre la vida de uso, origen, recomendaciones para la manipulación de los elementos del sistema, recuperación y/o planeación de uso futuro de los mismos.	Anexo a los planos, se debe contar con información específica de: elementos, componentes y materiales, sobre la vida de uso esperada de cada uno de ellos, su peso, sitio, año y compañía de producción, recomendaciones para su manipulación y su estrategia de recuperación, incluyendo por consiguiente una planeación para el uso futuro de las partes, especificando los elementos de construcción, componentes, subcomponentes y materiales que son recuperables y que pueden ser reutilizados o que tienen cabida dentro de cualquier estrategia de gestión de residuos (reparación, restauración, reutilización, canalización o reciclaje).
	VIDA DE USO	PARCIAL		← Cantidad de información que se tiene respecto a la vida de uso esperada del sistema		
	ORIGEN	PARCIAL		← Cantidad de información que se tiene respecto al sitio, año y compañía de producción de los elementos del sistema		
	MANIPULACIÓN	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a las recomendaciones para la manipulación de los elementos del sistema		
	RECUPERACIÓN	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a posibles estrategias para la recuperación de los elementos del sistema		
VIDA FUTURA	NULA		← Cantidad de información que se tiene respecto a la planeación de uso futuro de las partes del sistema			
facilitar el desmontaje o separación de partes	<b>accesibilidad</b>				Se considera que los puntos de acceso y uniones son parcialmente claras y obvias, pues los muros de block, lambrines y plafones, no permiten ver con precisión donde se ubican las conexiones viga trabe. El equipo de seguridad necesario para las labores de desmantelamiento o mantenimiento es parcial, ya que la estructura no cuenta con circulaciones que den acceso a los distintos puntos de la misma. En relación a la holgura,	Un subsistema o componente de construcción tendrá una buena accesibilidad si son claros y obvios los puntos de desensamble, en especial para las partes más valiosas, si es seguro llegar a ellos y existe el suficiente espacio para acceder de manera cómoda, proporcionando tolerancias realistas que permitan el movimiento durante el desmantelamiento o mantenimiento.
	CLARIDAD	PARCIAL		← Que tan claros y obvios son los puntos de acceso a las uniones.		
	SEGURIDAD	PARCIAL		← Cuanto equipo de seguridad se requiere para efectuar labores de separación		
	HOLGURA	PARCIAL		← Que tan fácil es acceder a los puntos de desensamble		

MATRIZ DE VALORIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN (Caso de estudio)			DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN		
PRINCIPIOS DE LA EPyDIPAM M	OPCIONES	% DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN PUNTUAL	EVALUACIÓN	NOTAS RECORDATORIAS
<b>TIPO DE INFORMACIÓN</b>				también es parcial ya que el acceso a ciertos puntos de las conexiones es difícil acceder pues quedaron muy juntas con la construcción colindante.	
<b>Ciclos de Vida útil</b>					
	Científica	0%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida de uso del sistema	Tal y como se comentó en el capítulo 4, cualquier intento por determinar un periodo aproximado promedio esperado de vida de los edificios al momento de ser resultados vagos y poco concretos sin embargo existen opiniones de parte de expertos en la materia, basadas en sus propios estudios y citadas en el capítulo 4. Por esta razón se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el ciclo de vida técnico es de carácter empírico. Por otra parte, en relación al ciclo de vida de uso, este responde a una cantidad más amplia de factores que vuelven aún más difícil lograr una predicción sobre su duración y en este respecto, los comentarios hechos por expertos en la materia son meramente opiniones. Por esta razón se considera que el conocimiento que se tiene en este aspecto es a través de la vox populli.	Considerando que algunos parámetros que influyen en la obtención del coeficiente de aprovechamiento de materiales son difíciles o incluso imposibles de determinar con exactitud, introdujo como una variable de la interfaz gráfica de usuario, el tipo de información que se tiene de distintas cuestiones previamente evaluadas. Para alimentar esta variable se dan cuatro opciones generales: Científica, Empírica, Vox populli, y Nula. A continuación se describe el criterio de clasificación de cada una de ellas:
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida de uso del sistema		
	Vox populli	100%	← Porcentaje de información que solo se sabe por " vox populli" sobre los ciclos de vida de uso del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre los ciclos de vida de uso, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Ciclos de Vida técnicos</b>					
	Científica	0%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida técnicos del sistema	En relación a la compatibilidad entre los materiales, existen estudios, resumidos en el ANEXO 17 sobre los materiales, y lo que puede deteriorar al concreto o al acero, materiales del sistema a evaluar. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales es de tipo científica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento científico sobre "x": Se considera así cuando se tiene información sobre "x" basada en experimentos científicos y publicada en alguna fuente reconocida.</li> <li>• Conocimiento empírico sobre "x": Se considera así cuando se tiene información sobre "x" basada en publicaciones reconocidas. Pueden caer dentro de esta categoría opiniones o conocimiento de un experto en la materia sin existir detrás de si un proceso rigurosamente experimental y científico.</li> <li>• Conocimiento a base de vox populli sobre "x" se considera cuando solo se sabe algo por lo que comúnmente se ha considerado aceptable. Cuando lo único que se tiene es una opinión consensada. Dicho tipo de conocimiento es casi equivalente a asignar "nulo" conocimiento sobre "x" ya que en ocasiones puede resultar muy engañoso lo que se conoce popularmente, sin embargo, una gran cantidad de cuestiones dentro de la construcción carecen de sustento documentado y es por este motivo que se debe asignar cierto valor a este tipo de conocimiento.</li> <li>• Conocimiento nulo sobre "x" se asigna cuando no se tienen datos ni una opinión consensada sobre "x".</li> </ul>
	Empírica	100%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre los ciclos de vida		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por " vox populli" sobre los ciclos de vida técnicos del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre los ciclos de vida técnicos, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Compatibilidad entre materiales</b>					
	Científica	100%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales del sistema	En relación al reciclaje entre los materiales, también en el ANEXO 17 se hace un resumen sobre las cuestiones de reciclaje y reutilización sobre los materiales empleados en el caso de estudio. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el reciclaje o reutilización de estos materiales ampliamente utilizados en la industria de la construcción también es de carácter científico.	
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre la compatibilidad de los materiales del sistema		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por " vox populli" sobre la compatibilidad de los materiales del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre la compatibilidad de los materiales, que se desconoce por completo del sistema		
<b>Reciclaje y reutilización de Materiales</b>					
	Científica	100%	← Porcentaje de información de tipo científica y documentada que se tiene sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema	En relación al reciclaje entre los materiales, también en el ANEXO 17 se hace un resumen sobre las cuestiones de reciclaje y reutilización sobre los materiales empleados en el caso de estudio. Por este motivo se considera que el 100% de la información que se tiene sobre el reciclaje o reutilización de estos materiales ampliamente utilizados en la industria de la construcción también es de carácter científico.	
	Empírica	0%	← Porcentaje de información de tipo empírica y documentada que se tiene sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema		
	Vox populli	0%	← Porcentaje de información que solo se sabe por " vox populli" sobre el reaprovechamiento de los materiales del sistema		
	Nula	0%	← Porcentaje de información sobre el reaprovechamiento de los materiales, que se desconoce por completo del sistema		

### >5.4.2.6 Resultados de la evaluación

Una vez introducidos los valores de la matriz en el modelo de evaluación, se obtiene un coeficiente de aprovechamiento de 0.72398

A través de la gráfica que proporciona la interfaz podemos darnos cuenta de cuáles son los principios que afectan de manera negativa el resultado final:

"separación técnica", "modulación en función del material", "planificación", "información" y accesibilidad. Estos a su vez afectan a otros como "cantidad y tipo de equipo para separar las partes" entre otros.

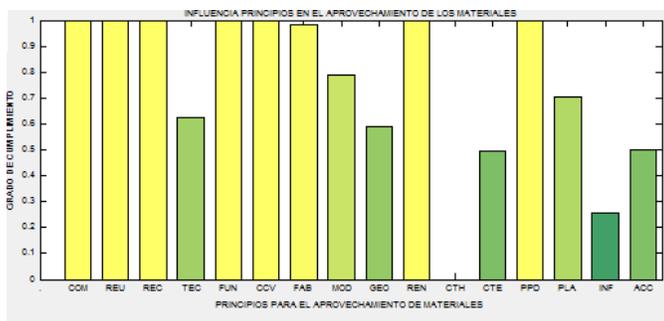


Ilustración 84 Resultado de primer evaluación

Es importante señalar que algunos de estos principios reciben una evaluación un tanto negativa en función de que no existe información científica y documentada sobre aspectos tales como los ciclos de vida técnicos y de uso sobre la estructura de las edificaciones, finalmente, la carencia de un plan de acción para el reaprovechamiento de los materiales es otra cuestión carente en el caso de estudio.

### >5.4.3 NOTAS FINALES

De la misma manera en cómo se han hecho estos tres ejemplos, podemos evaluar otras edificaciones, otros sistemas constructivos e inclusive otras capas edificatorias (la envolvente de una edificación, los acabados, instalaciones) y obtener predicciones con un sustento teórico y lógico, del grado de aprovechamiento que se tiene de los materiales empleados en ellas.

A medida que se comparan distintos casos de estudio, o distintos escenarios de un solo caso, el coeficiente de aprovechamiento de materiales nos dirá qué sistema

edificatorio brinda más oportunidades de sacarle el mayor provecho a los materiales que emplea. En este sentido, el coeficiente de aprovechamiento de materiales (CAM) sirve como un coeficiente comparativo entre diversos sistemas constructivos.

Como se puede apreciar, debido a que los resultados estarán siempre dentro de un rango de valores de [0.03 : 0.97], las unidades decimales, centesimales, milésimas y aún más pequeñas son valiosas y deben considerarse.

## CONCLUSIONES

### TEÓRICAS

Las conclusiones teóricas del presente trabajo se encuentran inmersas dentro de las reflexiones que se han venido comentando de manera pertinente en los primeros capítulos y que a continuación se resumen en lo siguiente:

La industria de la construcción en México, con muy pocas excepciones, opera bajo una infraestructura insostenible por las siguientes razones:

- Las edificaciones, si bien, cuentan con componentes y materiales que son reaprovechables después de que la edificación en su conjunto ha llegado al fin de su ciclo de vida, muchos de estos componentes y materiales no pueden ser reaprovechados debido a la escasa planeación. El legado de las construcciones actuales (con muy pocas excepciones) ha sido en muchos casos una gran cantidad de residuos inservibles y toxicidad
- La cultura del reciclaje a nivel industrial en México, si bien va en aumento, sigue siendo relativamente baja comparada con países industrializados. A medida que el mercado se inunda de nuevos productos "desechables", el constructor muestra cada vez menos interés por reaprovechar los componentes de construcción
- La industria de la construcción, al ser un indicador de la economía del país, se ha venido incentivando sin tomar en cuenta más que las cuestiones económicas a corto y mediano plazo, dejándose de lado otros aspectos como el impacto ambiental que genera, hoy en día derivado principalmente de:
  - La contaminación derivada del vertido de residuos de construcción o demolición (RCD) y
  - La sobre explotación de recursos naturales para la fabricación o transformación, de manera directa o indirecta, de materias primas que sirven en la industria de la construcción.

Operar bajo una infraestructura lineal insostenible no es una cuestión de menor importancia, ni tampoco será una opción por mucho tiempo. Es momento de que en México, la industria de la construcción empiece a plantear soluciones de fondo en función de los problemas previamente comentados, pues a medida que se postergue llevar a cabo las acciones para revertir el daño que día a día se genera a causa de ello, la sociedad y el medio ambiente tendrán que pagar más caras las consecuencias. Por otra parte, nos iremos rezagando en comparación con arquitectos investigadores de países desarrollados (Estados Unidos y Europa principalmente ) y también en relación con otras industrias que han venido invirtiendo en investigación para el desarrollo de tecnologías que incentivan el reaprovechamiento de materiales y que a raíz de eso han obtenido resultados meritorios, como lo es el caso de las más recientes aplicaciones de materiales *inteligentes* en el Desensamble activo propuesto para artículos de uso diario como teléfonos celulares por mencionar solamente un ejemplo.

Vale la pena resaltar que, cuando me planteé llevar a cabo la presente investigación, tenía en mente un solo problema a resolver: *disminuir los residuos de construcción y demolición, vía la reutilización o el reciclaje de los componentes y materiales de una construcción*, sin embargo, después del detallado análisis de la problemática que hoy en día enfrenta esta industria, dada su mal estructurada infraestructura industrial, me vengo a dar cuenta, tal y como lo he señalado en el documento, que más allá de este problema, subyacen otros, derivados de una falta de visión para incentivar el reaprovechamiento de los materiales. Entre estos problemas se encuentran la extracción desmedida de materiales y la contaminación derivada de manera directa o indirecta para producir y surtir nueva materia prima.

Cambiar este esquema lineal no será fácil, pues tal y como ya lo he señalado en su respectivo capítulo, este esquema tiene un gran incentivo: ha demostrado una alta rentabilidad, sobre todo a corto y a mediano plazo. Cuando nos enfrentamos ante esto, es difícil motivar a un cambio, la sociedad no en vano, se preocupa más por el dinero ahorita, que por el ambiente el día de mañana, sin embargo debemos de tomar en cuenta que con un medio ambiente devastado, no habrá dinero que

pueda satisfacer nuestras necesidades como seres humanos. ¿Cómo motivar entonces al cambio? Hay distintos caminos:

1. Informando: Esta tesis servirá para ello en función de que presenta información detallada y objetiva, al mismo tiempo que aporta una propuesta innovadora para la solución de estos problemas. Dar a conocer los problemas actuales y las consecuencias de no actuar en consecuencia, puedo asegurar que ayudará a buscar soluciones de fondo con beneficios que sobrepasen la barrera de lo económico y se involucren también en cuestiones sociales y ambientales.
2. Innovando en tecnología (sostenible y sustentable): Si bien, esta tesis se ha venido enfocando en comprobar un modelo de construcción sustentable, éste se ha planteado bajo la hipótesis de que también es sostenible, sobre todo a largo plazo. Es decir, un modelo de construcción ambientalmente sustentable vía la reutilización y el reciclaje de sus materiales resultará más rentable que un modelo de construcción que proponga verter los residuos de demolición o construcción y extraer siempre nueva materia prima para nuevos componentes cada vez que un ciclo de vida haya terminado. Nuestro planeta es un sistema cerrado, con una cantidad de energía, de recursos y de espacio finito, y en función de ello, día con día, estas tareas (extraer y verter) se vuelven más complicadas.
3. A través de un marco legal que la incentive: La construcción de un marco legal que pueda incentivar la práctica de la planeación para el aprovechamiento maximizado de materiales será posible siempre y cuando exista información e investigación al respecto. Habiendo revisado el marco legal, considero que se cuentan con las bases para comenzar a conformar un marco legal enfocado en la materia.

Centrarnos en las primeras dos vías para incentivar el cambio, previamente discutidas, se crearía un círculo virtuoso que promovería el cambio en la infraestructura industrial necesario.

## METODOLÓGICAS

Este primer acercamiento para la evaluación de sistemas edificatorios, en función de su potencial reaprovechamiento, a través de principios meramente cualitativos, nos permite obtener coeficientes comparativos tanto de sistemas edificatorios antiguos, modernos o en un futuro, de nuevos sistemas bajo los mismos principios. Es por ello que los parámetros propios de cada material (por ejemplo los valores

que determinan que una viga de madera pueda reutilizarse) deberán de ser obtenidos por un especialista a través de estudios y pruebas pertinentes. Así pues, no ha sido el objetivo de este estudio obtener parámetros de potencial de reciclaje o reutilización de todos los materiales, sino analizar una posible asociación de variables que intervienen en una eventual reutilización o reciclaje de materiales y con ello dar un potencial de aprovechamiento de materiales.

El desarrollo de proyectos de edificación planeados y diseñados para una eventual desconstrucción, que traiga consigo un aprovechamiento maximizado de los materiales, requiere de un análisis global sobre diversas metodologías que han sido expuestas y revisadas a lo largo de este trabajo de investigación. Esto es porque, como es bien sabido, los sistemas edificatorios a diferencia de los bienes muebles, no pueden limitarse a ser planeados y diseñados bajo las directrices de una sola estrategia de fin de ciclo de vida, tal como pudiera ser "diseño para el reciclaje" o "diseño para la reutilización".

Por otra parte, ha sido imperativo buscar una solución al problema inicial y a las interrogantes que motivaron este estudio, incorporando la interdisciplinariedad, no solo en función de integrar las nuevas filosofías sustentables, si no también, estudiando modelos y teorías matemáticas que ayudan a evaluar de manera un poco más objetiva el caso de estudio. En este sentido, la lógica difusa, ha servido como una herramienta para evaluar, a partir de valores intermedios, las cuestiones involucradas en un posible reaprovechamiento de los elementos de una construcción.

Sabemos que una construcción es un sistema sumamente complejo, que no puede ser evaluado a través de la lógica bivalente, aquella que solo acepta valores de "verdadero" y "falso", "1" o "0". Un sistema edificatorio -ya no digamos un edificio en conjunto- no es completamente reciclable ni tampoco imposible de reciclar en lo absoluto, tiene partes que son reciclables a un determinado grado y es por ello que resulta más práctico evaluar de forma cualitativa, a través de "rangos de cumplimiento" de reutilización o reciclabilidad.

Dadas las características previamente comentadas, considerando que algunos parámetros que influyen en la obtención del coeficiente de aprovechamiento de materiales son difíciles de determinar, se pensó en introducir como caso de estudio el diseño de estructuras de acero, pues presentan ventajas inherentes a sus materiales y métodos constructivos, sin embargo en el caso de que quiera evaluar distintos sistemas edificatorios, se propone incluir como una variable de la interfaz gráfica de usuario, *el tipo de conocimiento que se tiene de dicho sistema edificatorio*, misma que afectara todo el modelo y que también deberá de ser revisada posteriormente en función de lograr hacer un mejor análisis.

DE PROPUESTA

Para poder contrastar de manera clara los resultados de la investigación con la hipótesis general planteada al inicio, partiendo de los resultados que han sido presentadas a lo largo de los últimos capítulos, vale la pena señalar que, las evidencias que presenta la evaluación de los sistemas a través del modelo que ha sido construido y propuesto en esta tesis, son en todo sentido, de carácter teórico con base en la información propia de diversos proyectos de edificación y de publicaciones hechas por expertos en la materia, y todas ellas demuestran que en efecto una estrategia de aprovechamiento maximizado de materiales que se fundamente en los principios que esta tesis propone, traerá como consecuencia que los componentes de dicha edificación, independientemente de su tamaño, puedan ser reutilizados o reciclados.

Tal y como lo hemos señalado, sería un error creer que el modelo propuesto evalúa la cantidad exacta de materiales que podemos reutilizar o reciclar de una estructura. El aprovechamiento de los materiales de construcción es una cuestión que va mucho más allá de emplear materiales reciclables y re aprovechables en las construcciones y que ha quedado demostrado a través de los últimos capítulos de esta investigación.

Los valores resultantes del análisis de las variables son un parámetro indicativo sobre el aprovechamiento que se les está dando a los materiales usados en obra. Como ya hemos visto, representa no solo la cantidad de material que puede ser reutilizado o reciclado, sino que también es reflejo de que tan fácil será reutilizar esos materiales, separarlos, darles un mantenimiento adecuado para que tengan una vida técnica lo más prologada posible y finalmente si se empleó una modulación adecuada.

En este sentido, podemos afirmar, a partir de los resultados de los tres casos de estudio evaluados, reflejados en la Tabla 22, que en la actualidad, los sistemas edificatorios que dan mayores beneficios, en función de un potencial de reaprovechamiento, son, en principio, los que forman parte de la capa estructural de la edificación, ya que es la que se planea y diseña pensando en un mayor ciclo de vida. En especial, las estructuras de acero por las características de los materiales empleados y su gran potencial de industrialización, poseen un alto grado de reutilización o reciclaje. Si a esto le sumamos el hecho de que algunas son planeadas posibilitando su desensamble, y en función de ello sus conexiones son mecánicas, esto nos da como resultado una inigualable competitividad respecto al tema de reaprovechamiento frente a otros sistemas edificatorios de otras capas funcionales (envolvente, instalaciones, acabados etc.)

Tabla 22 Resultados de casos de estudio

	Descripción	Valor de Aprovechamiento de Materiales
Caso de estudio 1	Conexiones soldadas	0.51198
	Conexiones atornilladas	0.53314
Caso de estudio 2	Estructura metálica	0.72398

La importancia de contar con un modelo de evaluación como el que se propone, la encontramos cuando analizamos la gran cantidad de factores que inciden en el aprovechamiento de materiales y nos percatamos de que resultaría difícil asociarlos de manera global sin una herramienta que nos permita hacerlo tal y como la que se presenta en este trabajo. Esto a su vez nos da la posibilidad de brindar una propuesta pionera para establecer valores mínimos aceptables para el aprovechamiento de materiales dentro de la construcción:

Tabla 23 Propuesta de Rangos

<b>RANGO NEGATIVO</b>	<b>&gt; 0.03 - &lt; 0.52</b>
<b>RANGO MÍNIMO ACEPTABLE</b>	<b>&gt; 0.52 - &lt; 0.70</b>
<b>RANGO ACEPTABLE</b>	<b>&gt; 0.70 - &lt; 0.85</b>
<b>RANGO ÓPTIMO</b>	<b>&gt; 0.85 - &lt; 0.97</b>

Si bien, el modelo de evaluación creado a través del lenguaje de programación MATLAB, es una herramienta que facilitará evaluar el aprovechamiento de materiales de un sistema edificatorio, considero que lo más importante es la comprensión de cada uno de los principios que lo componen, los cuales a medida que sean cumplimentados, motivarán el reaprovechamiento de los materiales y componentes de la construcción en cuestión.

Publicación de la propuesta

La propuesta de este trabajo, ha ido en dos sentidos: Definir los principios para el aprovechamiento de materiales y asociarlos a través de una interfaz gráfica, sin embargo, su alcance no se limita a estas dos acciones, pues el desarrollo e investigación que se ha hecho en la materia ha dado origen a la publicación de un sitio web dedicado a difundir parte de lo que se ha logrado hasta el momento. A través del sitio web <http://amm.x10.mx> se dan a conocer los principios a los que se ha llegado a través de esta investigación para lograr el aprovechamiento maximizado de materiales en los proyectos arquitectónicos. En este mismo sitio, se publica el código fuente de la interfaz gráfica de usuario construida, de manera tal que pueda ser empleada por otras personas que cuenten con un programa/lenguaje de programación MATLAB v. 7.12.0.635 (R2011a) o más reciente en su computadora. Solo hay que ingresar a <http://amm.x10.mx/EAR.htm>, dar clic en "DESCARGAR CÓDIGO FUENTE", descomprimirlo con el PASSWORD "IGUAMM\_01\_13". Copiar y pegar el código fuente en una interfaz gráfica de usuario nueva en Matlab. Esto permitirá que cualquier interesado pueda poner en práctica el modelo de evaluación propuesto, y también abre la posibilidad de que se le hagan cambios y mejoras.

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Merece la pena hablar también de lo que en su momento, por las limitantes del tiempo y los recursos, se tuvo que dejar de lado y que ahora se propone como futuras líneas de investigación, en relación con el tema aquí planteado, de tal forma que este documento pueda servir para ello como un documento base.

- Determinar un índice de rentabilidad de un proyecto que ponga en práctica los principios para el aprovechamiento maximizado de materiales, tomando en cuenta el retorno de la inversión a largo plazo que se logre gracias a la reducción en los costos de remodelaciones, reubicaciones, mantenimiento, posiblemente demoliciones y a esto sumarle los beneficios ambientales de un proyecto de tales características.
- Conformar una base de datos de los sistemas constructivos más comunes en México para que puedan ser evaluados de manera sistemática, en menos tiempo y más sencillamente. Entre la información que resulta importante e imperativo conocer esta: el potencial de reciclaje que tienen los materiales o componentes y las limitantes que presentan ante la reutilización, sobre todo cuando se trata de elementos estructurales.
- Proponer una certificación que vaya dirigida en función de esta predicción de aprovechamiento de materiales que se le está dando a un sistema edificatorio o a una construcción en conjunto.

Concluyo sosteniendo que es una cuestión fundamental para el desarrollo sostenible y sustentable de la industria de la construcción en México, ahondar en estas y otras futuras líneas de investigación que enriquezcan la propuesta del trabajo de investigación aquí presentado, en aras de lograr proyectos de edificación mejores en todo sentido: Mas sustentables, transformables, baratos, confortables y estéticamente agradables.

Tanto el Arquitecto cómo el Ingeniero, son prospectólogos, usamos la prospectiva de forma inconsciente, desde el momento en que conciben un espacio y empiezan a esbozar los primeros trazos, sin embargo en nuestro que hacer arquitectónico y en nuestra formación académica, esto ha derivado en una idealización de proyectos centrados en disminuir costos y lograr el confort de los usuarios de manera presente, dejando de lado, y atendiendo de manera secundaria los aspectos de sustentabilidad o inclusive de serviciabilidad del edificio a lo largo de su ciclo de vida, por ello, este método de evaluación, es una herramienta importante, que se ha construido con la finalidad de ayudar a integrar los principios para el aprovechamiento de materiales, a los proyectos de edificación.

## REFERENCIAS

### PRESENTACIÓN

**CENTRO ARGENTINO DE INGENIEROS**, (s.f.) *Coordinación modular de la construcción*, Extraído del sitio de la Comisión de Tecnología de la Construcción del Centro Argentino de ingenieros el día 05 de noviembre del 2010

**OCAMPO, R.,E.**, (1999), *Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, Nanotecnología y biomimetismo en la arquitectura* (Tesis de Maestría en Campo de Tecnología-Universidad Nacional Autónoma de México) México: UNAM

### CAPÍTULO I

#### LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL: Una práctica insostenible

**AGENDA LOCAL 21** (2004) *1972 Conferencia de Estocolmo*, extraído el 01 de noviembre del 2011 de: <http://www.oarsoaldea.net/agenda21/es/node/6>

**BEDOYA M., C.** (junio 2003) *el concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles: La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural*, (Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster). Colombia: Universidad Nacional De Colombia.

**BRAUNGART M., & McDONOUGH W.**, (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, China: North Point Press.

**BUSINESS NEWS AMERICAS**, (Noviembre 2004) *Inauguran centro de reciclaje para residuos de la construcción*, Extraído el 05 de noviembre del 2010 de: [http://www.bnamericas.com/news/aguasyresiduos/Inauguran\\_centro\\_de\\_reciclaje\\_para\\_residuos\\_de\\_la\\_construccion](http://www.bnamericas.com/news/aguasyresiduos/Inauguran_centro_de_reciclaje_para_residuos_de_la_construccion)

**CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO** (s.f.) *Reciclaje*. Extraído el 29 de marzo de 2012 de: <http://www.canacero.org.mx/>

**CAPUZ RIZO, S, Et al.** (2004) *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

**CORTINA RAMÍREZ, J. M.** (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. (Tesis para obtener el título de Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción, Universidad de las Américas Puebla) [versión digital] extraída el 10 de noviembre del 2010 de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/cortina\\_r\\_jm/index.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/cortina_r_jm/index.html)

**CRUZ, G. y VELÁZQUEZ, Y.** (2004) *Concreto Reciclado* (Tesis para obtener título de ingeniero civil-Instituto Politécnico Nacional E.S.I.A. unidad Zacatenco), México: E.S.I.A. [versión digital] extraída el 24 de septiembre de 2010 de: <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/handle/123456789/4860>

**DROGMULLER R et al** (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press

**EL SIGLO DE TORREÓN** (Jun. 2007) *Se generan 450 toneladas de residuo de mármol al día*, [versión digital] Extraído del sitio web del Siglo de Torreón el día 05 de noviembre del 2010 de: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/279267.se-generan-450-toneladas-de-residuo-de-marmol.html>

**EL UNIVERSAL**, (Febrero 2007) *Materiales de reciclado, lo nuevo en la construcción de viviendas*, [versión digital] extraído el 03 de Octubre del 2010 del sitio web del Siglo de Torreón.com.mx: <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/262138.materiales-de-reciclado-lo-nuevo-en-la-constr.html>

**GARCÍA P, B.** (2008) *Ecodiseño: nueva herramienta para la sustentabilidad*, México: Designio,

**GOMBRICH, E.** (1999) *Breve historia del mundo*, España: Península,

**HOMEX**, (2009) *Reporte anual 2009*, Extraído el 01 de enero de 2013 de: [http://www.homex.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=60&Itemid=64](http://www.homex.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=64).

**LA CRÓNICA**, (marzo, 2010) *Unidad Aldana, 100% sustentable: GEO*, [versión digital], extraído el 10 de octubre del 2010 de: [http://www.cronica.com.mx/nota.php?id\\_noticia=492750](http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_noticia=492750)

**LEROUX K, & SELDMAN N.** (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday's buildings for tomorrow's sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A.,

**LIBRARY OF ECONOMICS AND LIBERTY**, (s.f.) *Adam Smith*, Extraído el 23 de octubre de 2010 de: <http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Smith.html>

**MARTEL VARGAS, G.J.**, (2008) *Caracterización de Residuos de la construcción y demolición de edificaciones para su aprovechamiento* (Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México) México: UNAM

**OLSON T.** (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A.: Washington State University,

**RIVERA MERA C.** (2007) *Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el valle de México y propuesta de solución* (Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México)México: UNAM

**THE CLUB OF ROME**, (s.f.) *The story of the club of rome*, Extraído el 13 de octubre del 2010 de: <http://www.clubofrome.org/eng/about/4/>

**U.S. GREEN BUILDING COUNCIL**,(Agosto 2010) *LEED 2009 for New Construction and major renovations checklist*, extraído el 02 de diciembre del 2010 del sitio web: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=220>

**VASCONCELOS, N.** (febrero 2010) *EU, Japón y Europa reciclan los desperdicios del concreto*, Extraído del sitio web de: CNN México el día 05 de noviembre del 2010 de: <http://mexico.cnn.com/mundo/2010/02/18/eu-japon-y-europa-reciclan-los-desperdicios-del-concreto>

**VASCONCELOS, N.** (febrero 2010) *Se solicitan toneladas de escombros*, Extraído del sitio web de: CNN Expansión el día 05 de noviembre del 2010 de: <http://www.cnnexpansion.com/obras/2010/02/05/tiempo-de-reciclar>

**WADEL, R. G.,** (2009) *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*, (Tesis de doctorado por la Universidad Politécnica de Cataluña) España: UPC.

**WILLEM VAN LOON, H.,** (trad. Escorihuela, L.). (2004) *La historia de la humanidad*. México: Oceano,

**WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT** (julio 2009) *Recycling Concrete: Executive summary* Extraído del sitio web de: la CSI el día 05 de noviembre del 2010 de: [www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf](http://www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-Summary.pdf)

## CAPITULO II

### BASES PARA UN NUEVO PLANTEAMIENTO: Aprovechamiento Maximizado de Materiales

**BRANDES, J. Et al** (2004) *Reciclado de residuos plásticos*. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 5(1), [versión electrónica] consultada el 27 de noviembre de 2011 de: <http://www.ehu.es/reviberpol/>

**BALDWIN, J.** (s.f.) *Dymaxion House* Recuperado el 29 de Septiembre del 2009 del sitio Web del Buckminster Fuller Institute: <http://www.bfi.org/about-bucky/buckys-big-ideas/dymaxion-world/dymaxion-house>

**BLOK, R. & Van HERWIJNEN, F.** (2005) *Flexibility of building structures*, Holanda: University of Technology, [Versión digital] extraído el 26 de noviembre del 2011 de: <http://es.scribd.com/doc/53993445/Flexibility-of-Buildings>

**BRADLEY, G, et al,** (s.f.) *Design for Deconstruction and Materials Reuse*, extraído el 29 de noviembre del 2010 de: <http://www.recyclecddebris.com/rCDd/Resources/CaseStudies.aspx>, citado de (Habracken, 1981; Kendall y Teicher, 2000; Brnd, 1994)

**BRAUNGART M., y McDONOUGH W.** (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things*, China: North Point Press.

**CAPUZ RIZO, S, Et al.** (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

**CHINI, A.** (s.f.) *Design for deconstruction*, University of Florida, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction, extraído el 03 de diciembre del 2010 del sitio web: <http://www.design4deconstruction.org/home.html>

**CIUDADMEXICO.COM.MX** (2009) *Museo Universitario del Chopo*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: <http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/chopo.htm>

**CIUDADMEXICO.COM.MX**(2007) *Kiosco Morisco*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: [http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/kiosco\\_morisco.htm](http://www.ciudadmexico.com.mx/atractivos/kiosco_morisco.htm)

**COLIN, D.** (2005) *The prefabricated home*. (1ra Ed.). UK: Reaktion books ltd.

**CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE,** (s.f.) *Constructability Improvement During Engineering and Procurement*, extraído el 07 de diciembre del 2010 de: [https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/sd5\\_more.cfm](https://www.construction-institute.org/scriptcontent/more/sd5_more.cfm)

**COOK, P.** (1972). *Capsule Homes Project*. Recuperado el 31 de Enero del 2010 del sitio Web de The Archigram Archival Project: <http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?id=58>

**COOK, P.** (1972). *Capsule Homes Project*. Recuperado el 31 de Enero del 2010 del sitio Web de The Archigram Archival Project: <http://archigram.westminster.ac.uk/project.php?id=58>

**CORTINA RAMÍREZ, J. M.** (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. (Tesis para obtener el título de Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción., Universidad de las Américas Puebla) [versión digital] extraída el 10 de noviembre del 2010 de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/cortina\\_r\\_jm/ind\\_ex.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/cortina_r_jm/ind_ex.html).

**CROWTHER P.** ( 2002 ) *Developing an inclusive model For design for deconstruction*. Australia: Queensland University of Technology , Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy, CIB Publication 266, Actas del grupo de trabajo del CIB 39 – Deconstruction Meeting; 6 April 2001, Wellington, New Zealand.

**CROWTHER P.** (1999) *Historic trends in building disassembly*, Australia: Queensland University of Technology.

**DOWIE T. & MATHEW S.** (1994), *Guidelines for designing for disassembly and recycling*, U.K.: Manchester Metropolitan University.

**DROGEMULLER R et al** (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press,

**DURMISEVIC, E.** (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC.

**ECONOMIC ARTICLES,** (s.f.) *Product life cycle*, extraído el 13 de agosto del 2011 de: <http://www.businessineconomy.com/product-life-cycle/>

**FIKSEL, J.** (2009) *Design for environment: a guide to sustainable product development*, (2da Ed). E.U.A.: McGrawHill.

**GORDON, B., M.** (1997) *Demolition energy analysis of office building structural systems*. Athena. Sustainable materials institute. Canada.

**GREENPEACE,** (junio 2002) *Cero Residuos: el camino a seguir*. Extraído de la página de Jaime Cuevas Rodríguez (docente de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid) el 20 de noviembre de 2010 de: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jaimefa/](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/)

**HERBERT, G.** (1978) *Pioneers of Prefabrication : The British Contribution in the Nineteenth Century*, E.U.A.:The John Hopkins University Press.

**KRONENBURG, R.** (2003) *Portable Architecture*, (3º Ed.), U.K.: Elsevier.

**LEONARD, A.** (2010) *The story of stuff*, Free Press NY, EUA, [libro electrónico]

**MORALES P. I.** (2008) *Remanufactura, una nueva vida útil*. Publicado en CNNExpansión y consultado el día 27 de noviembre de 2011 en: <http://www.cnnexpansion.com/manufactura/tendencias/remanufactura-una-nueva-vida-util>

**MUSEO UNIVERSITARIO CHOPO** (s.f.) *Historia*. Extraído el 01 de diciembre de 2011 de: <http://www.chopo.unam.mx/historia.html>

**NÚÑEZ P.,** (septiembre 2011) referencias comentadas en la "Cátedra extraordinaria Federico E. Mariscal: La restauración como disciplina" Ciudad Universitaria, México D.F.

**OLSON T.** (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A: Washington State University.

**PETERS, T. F.** (1996) *Building the Nineteenth Century*, E.U.A.: The MIT Press,.

**PINO, R.** (2010). ¿Qué es ecodiseño? Recuperado el 07 de octubre del 2010 de sitio web Ecodiseño México: [http://www.ecodiseniomexico.org/html/que\\_es.html](http://www.ecodiseniomexico.org/html/que_es.html)

**PULSAKI, M et al.** (s.f.) *Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability*, extraído del US green building council el día 08 de diciembre del 2010 de: [http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204\\_Pulaski\\_PA466.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204_Pulaski_PA466.pdf)

**SÁNCHEZ, Á.** (1982). *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos: introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo*. México: Trillas.

**SASSI, P .** (2004), *Designing buildings to close the material resource loop*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157 Issue ES3, September 2004 (ISSN 1478 4637). Recuperado el 28 de noviembre del 2011 de: <http://arch8565.wordpress.com/?s=sassi>

**THORMARK, C.,** (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología.

**TORRES A., y MARTÍNEZ M.,** (2001) *Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad*. México: Publicación técnica de la Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del Transporte.

**URBAN ORE.**(s.f.) *Zero waste resources*, extraído el 05 de diciembre del 2010 de: <http://urbanore.com/zero-waste-resources/>

**WADEL, R. G.,** (2009) *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*, (Tesis de doctorado por la Universidad Politécnica de Cataluña) España: UPC.

### CAPITULO III

#### LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO Y PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN PARA EL DESENSAMBLE

**ALLSTUDIES.COM** (s.f.) *Clasificación del Acero por composición química, propiedades o uso* extraído el 11 de marzo de 2012 de: <http://www.allstudies.com/clasificacion-acero.html>

**ASTM.** (2001) *Steel standards*. Extraído el 10 de marzo de 2012 de: <http://www.astm.org/Standards/steel-standards.html>

**BERGE, B.,** (2000) *Ecology of Building Materials*. U.K.: Oxford Architectural Press.

**CADENA ALDAZ, L.F. Y HERNÁNDEZ VIVANCO, V., F.** (2008) *diseño y análisis de la conexión emperrada viga-columna en acero estructural para zona sísmica iv*. Tesis de Ingeniería mecánica por la Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador. Extraída el 31 de marzo de 2012 de: <http://esscaibd.com/doc/55735649/T-ESPE017521>

**CHINI, A.** (s.f.) *University of Florida, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction*, extraído el 03 de diciembre del 2010 del sitio web: <http://www.design4deconstruction.org/home.html>

**CONSTRUIRNOA.COM** (s.f.) *Procesos de Corte* . Extraído el 24 de marzo del 2012 de: <http://www.construirnoa.com.ar/>

**CROWTHER P.** ( 2002 ) *Developing an inclusive model for design for deconstruction*. Australia: Queensland University of Technology, Design for deconstruction and materials reuse, CIB Publication 266. Actas del grupo de trabajo del CIB 39 – Deconstruction Meeting; 6 April, Wellington, New Zealand.

**DOWIET. & MATHEW S.** (1994), *Guidelines for designing for disassembly and recycling*, U.K.: Manchester Metropolitan University.

**DURMISEVIC, E.** (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC

**GONZÁLEZ I BARROSO J. et al** (2000) *Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Instituto de la tecnología de la construcción de Cataluña. España.

**MOTTA CAZARES, G.** (1998) *Procedimiento de construcción de estructuras metálicas* (Tesis de Ingeniería civil UNAM)

**SASSI, P .** (2004), *Designing buildings to close the material resource loop*. Actas de la: Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157 Issue ES3, September 2004 (ISSN 1478 4637). Recuperado el 28 de noviembre del 2011 de: <http://arch8565.wordpress.com/?s=sassi>

**SEGOB** (s.f.) *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas*. Extraída el 30 de marzo de 2012 de: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/despliegaedo2.php?ordenar=&edo=9&idi=&catTipo=20>

**SIGRID, N. et al** (2008) *Salvageability implications for architecture*. Noruega: Nordic Journal of Architectural Research Volume 20, No 3, [versión digital] Recuperado el 06 de marzo del 2011 de: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:216805>

**TABOADA VIRGEN, M.** (2001) *Propuesta para implementar una metodología basada en la experiencia personal para apoyar en la supervisión de construcciones con estructura metálica*. (Tesis de Ingeniería civil UNAM)

**TAKEUCHI, C. P.** (2006) *Conexiones en estructuras metálicas*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

**TAPIA GONZÁLEZ, J.M,** (1998) *Construcción de estructuras*(Tesis de Ingeniería civil UNAM)

**THORMARK, C.,** (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología.

**VECTOR** (septiembre 2012) *Visión panorámica de las estructuras de acero en México*. (revista de difusión de la federación mexicana de colegios de ingenieros civiles A.C.)

**WORLDSTEEL ASSOCIATION** (2010) *About steel*. Extraído el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.worldsteel.org/faq/about-steel.html>

### CAPITULO IV

#### PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA EL AMM

**ABARCA, F.M. SCHEUBLIN y A.J.D. LAMBERT** (2009) *Construction Process Assessment or "Black Box Opener* Eindhoven University of Technology, Holanda: *Lifecycle Design of Buildings, Systems and Materials*, Reporte del CIB 323, actas de las conferencias 12-15 Junio de 2009 AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (2012) *The Sustainable Aspects of*

*Structural Steel*. Extraída el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=17560>

**AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (2012)** *The Sustainable Aspects of Structural Steel*. Extraída el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=17560>

**BERGE, B.**, (2000) *Ecology of Building Materials*. U.K.: Oxford Architectural Press.

**CHIODO J.,D.**, (2005) *Design for Disassembly Guidelines*. Extraído el 06 de noviembre del 2011 de: [www.activeassembly.com/guidelines/](http://www.activeassembly.com/guidelines/)

**CROWTHER, P., et al** (2007) *Design for disassembly and recycling-using radio frequency identification (RFID) technology to facilitate whole life actions for sustainable construction*. República Checa: Actas de la conferencia internacional: CESB07 (Central Europe towards Sustainable Building) [versión digital] Extraído el 28 de febrero del 2011 del sitio web: <http://www.baufachinformation.de/aufsatz.jsp?ul=2008051000327>

**DaSILVA, T.** (2002) *La predicción de la vida útil y de la vida residual de las construcciones*, Brasil: Universidad Federal de Ubertândia Facultad de Ingeniería Civil

**DROGMULLER R et al** (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press

**DURMISEVIC, E.** (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC.

**GERDAU AZA** (s.f.) *Reciclaje de la Construcción*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje\\_Construccion.asp](http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje_Construccion.asp)

**GERDAU AZA** (2009) *Por qué construir con acero reciclado?* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.revistatc.com/?p=2024>

**GERVÁSIO, H.** (s.f.) *La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.construccionenacero.com/Paginas/ArticulosyPublicaciones-Revista.aspx>

**GONZÁLEZ I BARROSO J. et al** (2000) *Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. Instituto de la tecnología de la construcción de Cataluña. España.

**GONZÁLEZ, M., R.** (2005) *Vida útil ponderada de edificaciones*, (Tesis de Maestría en Valuación por la Universidad a distancia de Costa Rica en conjunto con la Universidad Benemérita de Puebla) [Versión digital] extraída el 07 de mayo del 2011 de: <http://www.uaca.ac.cr/bv/ebooks/topografia/3.pdf>

**HERA, SUSTAINABLE STEEL CONSTRUCTION** (s.f.) *Steel Reuse*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [http://johnjing.co.nz/green\\_web/reuse.php](http://johnjing.co.nz/green_web/reuse.php)

**HERNÁNDEZ C.,O., y MENDOZA E., C.**, (2006) *Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico*, México: UNAM, División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería. [versión digital], Extraído el 08 de septiembre del 2011 de: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/404/40470105.pdf>

**LARAN RFID** (2005) *A basic introduction to RFID technology and its use in the supply chain*. Publicado en el sitio web del RFID Journal y extraído el 28 de julio del 2011 del sitio: <http://www.rfidjournal.com/search?q=introduction+rfid&search-form=search>

**MIMOLESKINE** (agosto 2009) *Jean Nouvel: instituto del mundo árabe*, extraído el 19 de septiembre del 2011 de: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2009/08/jean-nouvel-instituto-del-mundo-arabe.html>

**OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE LA SOLDADURA** (s.f.) *Austeníticos*. Extraído del sitio web: Observatorio tecnológico de la soldadura el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146&Itemid=30](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=30)

**PULSAKI, M et al**, (s.f.) *Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability*, extraído del US green building council el día 08 de diciembre del 2010 de: [http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204\\_Pulaski\\_PA466.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204_Pulaski_PA466.pdf)

**RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS Committee** (2009) *Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*. Extraído el 26 de marzo del 2012 de: <http://www.boltcouncil.org/>

**REUSE-STEEL**(s.f.)*Projects*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: <http://www.reuse-steel.org/projects.aspx>

**SASSI, P .** (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment.

**SEGUI T. W.** (1999)*Diseño de estructuras de acero con LRFD*. Trad. De la Cera, J. Thomson Editores, México.

**SIGRID, N. et al** (2008) *Salvageability implications for architecture*. Noruega: Nordic Journal of Architectural Research Volume 20, No 3, [versión digital] Recuperado el 06 de marzo del 2011 de: <http://ntnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:216805>

**STEEL RECYCLING INSTITUTE** (2009) *The Inherent Recycled Content of Today's Steel*. Fact Sheet. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.recycle-steel.org/en/Recycling%20Resources/Steel%20Recycling%20Rates.aspx>

**SWEDISH INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION**, (s.f.) *Sustainability of steel-framed buildings*. extraído el 26 de marzo del 2012 de: [http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/SBI-Sustainability\\_of\\_steel\\_framed\\_buildings.pdf](http://www.sbi.nu/uploaded/dokument/files/SBI-Sustainability_of_steel_framed_buildings.pdf)

**VICTORIA UNIVERSITY OF WELLINGTON** (2007) *Table of Embodied Energy Coefficients*. Extraído el 26 de marzo del 2012 de: <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/resources/index.aspx>

**WORLDSTEEL ASSOCIATION** (2010) *The three Rs of sustainable steel*. Extraído el 26 de marzo de 2012 de: <http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets.html>

## CAPITULO V

### MODELO DE EVALUACIÓN PROPUESTO

**DURMISEVIC, E.** (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC.

**THORMARK, C.**(2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Suecia: Universidad de Lund, Instituto de Tecnología.

**SASSI, P .** (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment.

## ANEXOS

**Anexo 1: El problema de los residuos y la baja cultura del reciclaje o reutilización en México**

**CONACYT, NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**, (junio 2005) *Estudian avance de la mancha urbana sobre los espacios agrícolas*. Extraído el 01 de octubre de 2010 de: <http://148.207.1.2/comunicacion/agencia/notas-vigentes/Absorbe-mancha.html#Arriba>

**GREENPEACE**, (junio 2002) *Cero Residuos: el camino a seguir*. Extraído de la página de Jaime Cuevas Rodríguez (docente de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid) el 20 de noviembre de 2010 de: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jaimefa/](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/)

**Anexo 2: Los materiales de construcción y su toxicidad**

**RIVERA MERA C.** (2007) *Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el valle de México y propuesta de solución* (Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México) México: UNAM

**FORO CIUDADES PARA LA VIDA** (Mayo 2004), *Inventario de elementos tóxicos peligrosos y contaminantes en materiales de construcción*, Documentos de trabajo, Perú: Ciudades para la vida y AVINA.

**Anexo 3: Producción de cemento de participantes del GNR**

**WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: (s.f.) Cement production. Extraído el 05 de noviembre del 2010 de:** [http://www.wbcsdcement.org/gnr-2008/world/GNR-Indicator\\_311b-world.html](http://www.wbcsdcement.org/gnr-2008/world/GNR-Indicator_311b-world.html)

**Anexo 4: La Teoría de sistemas**

**SÁNCHEZ, Á.** (1982). *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos: introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo*. México: Trillas.

**Anexo 5: El enfoque sistémico de la construcción**

**DURMISEVIC, E.** (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC.

**OLSON T.** (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A.: Washington State University.

**Anexo 6: Ecoeficiencia**

**ULRICH Ernst et al. (1997) Factor 4: duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales, España: Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores.**

**CAPUZ RIZO, S., Et al.** (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

**Anexo 7: Análisis de ciclo de vida**

**CAPUZ RIZO, S., Et al.** (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

**Anexo 8: Ejemplos documentados de desconstrucciones con beneficios económicos**

**U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS,(s.f.) Installation Support Division, Alexandria, VA, Alternatives to demolition for Facility reduction, DEPARTMENT OF THE ARMY U.S., [versión electrónica] publicada en el sitio web de Whole building design guide (WBDG), extraído el 03 de diciembre del 2010 de:** [http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb\\_420\\_49\\_30.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_30.pdf)

**LEROUX K, & SELDMAN N.** (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday's buildings for tomorrow's sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A.

**THE ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS, Green Value, Green buildings, growing assets, Case studies,** <http://www.metrovancouver.org/about/publications/Publications/greenvaluecasestudies1.pdf>

**Anexo 9: Edificio de la Castañeda**

**HERNÁNDEZ, J** (agosto 2010) *La historia desconocida del hospital La Castañeda*. Extraído de sitio en línea del universal el día 05 de diciembre del 2011 de: <http://www.eluniversal.com.mx/sociedad/6377.html>

**GARCÍA P.** (s.f.) *El manicomio de la Castañeda*. Extraído el 04 de diciembre del 2011 de: <http://bicentenario.com.mx/?p=10927&cp=all>

**Anexo 10: Abdol Chini**

**CIB INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING CONSTRUCTION (s.f.) Prof. Dr. Abdol Chini.** Recuperado el 04 de diciembre de 2011 de: [www.uni-siegen.de/fb10/subdomains/cibw115/coordination/shini.html?lang=de?lang=de?lang=de%23top%23top%23top](http://www.uni-siegen.de/fb10/subdomains/cibw115/coordination/shini.html?lang=de?lang=de?lang=de%23top%23top%23top)

**Anexo 11: Sobre la constructibilidad**

**ULSAKI, M et al,** (s.f.) *Design for Deconstruction: Material Reuse and Constructability*, extraído del US green building council el día 08 de diciembre del 2010 de: [http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204\\_Pulaski\\_PA466.pdf](http://www.usgbc.org/Docs/Archive/MediaArchive/204_Pulaski_PA466.pdf)

**CROWTHER P.** ( 2002 ) *Developing an inclusive model For design for deconstruction*. Australia: Queensland University of Technology , Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economic, and Policy, CIB Publication 266, Actas del grupo de trabajo del CIB 39 – Deconstruction Meeting; 6 April 2001, Wellington, New Zealand.

**Anexo 12: Catarina Thormark**

**MALMÖ UNIVERSITY (s.f.) Catarina Thormark, recuperado del sitio web de la universidad de Malmö del staff de investigación el día 28 de noviembre de 2011 de:** <http://forskarnav.mah.se/id/kscath>

**THORMARK, C.,** (2000) *Environmental analysis of a building with reused building materials*, Universidad de Lund, Instituto de Tecnología, Suecia.[version digital] Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://muep.mah.se/handle/2043/9844>

**THORMARK, C.,** (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Universidad de Lund, Instituto de Tecnología, Suecia, P. 389 .[version digital] Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s?id=24732&postid=41592>

**THORMARK, C.**, (2007) *Motives for design for disassembly in building construction*, Conferencia del CIB SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices Lisboa, Portugal. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.irb.fraunhofer.de/CIBlibrary/search-quick-result-list.jsp?A&idSuche=CIB+DC11732>

**THORMARK, C.**, (2007) *Energy and resources, material choice and recycling potential in low energy buildings*, Conferencia del CIB SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices Lisboa, Portugal. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.irbdirekt.de/daten/iconda/CIB11753.pdf>

**BRUNKAUS, THORMARK & HENRIKKE**(2010) *Illustrating limitations of energy studies of buildings with LCA and actor analysis*, Building Research & Information, Inglaterra. 38: 3, 265 — 279 [versión electrónica] recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://dx.doi.org/10.1080/09613211003654871>

### Anexo 12: Paola Sassi

**SASSI-CHAMBERLAIN ARCHITECTS** (s.f.) *The partners*. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.scaarch.idps.co.uk/pages/partners.htm>

**OXFORD BROOKES UNIVERSITY** (s.f.) *Dr. Paola Sassi*, Extraído el 28 de noviembre de 2011 de: <http://architecture.brookes.ac.uk/staff/paolasassi.html>

**SASSI, P.** (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment.

**SASSI, P.** (2004), *Designing buildings to close the material resource loop*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157 Issue E53, September 2004 (ISSN 1478 4637). Recuperado el 28 de noviembre del 2011 de: <http://arch8565.wordpress.com/?s=sassi>

### Anexo 13: Elma Durmisevic

**4DARCHITECTS**(s.f.)*Elma Durmisevic*. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: [http://www.4darchitects.nl/4d\\_profile.htm](http://www.4darchitects.nl/4d_profile.htm)

### Anexo 16: Lógica difusa

**DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**, (s.f.) *eMathTeacher: Método de Mamdani de Inferencia Borrosa*. Extraído el 24 de julio del 2011 de: <http://www.dma.fi.upm.es/research/FundMatSoftComputing/fuzzyinf/main.htm>  
*Tutorial de Introducción de Lógica Borrosa*  
<http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/tutfuzzy/indice.html>

**LAZZARI, L et al** (1998), *Teoría de la decisión Fuzzy*, Argentina: Ediciones Macchi.

**MATHWORKS**, (s.f.), *R2011a Documentation → Fuzzy Logic Toolbox*, Extraído del sitio del sitio web de Manuales de MATLAB el 10 de Agosto del 2011. URL: [http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/bp78l6\\_1.html](http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/bp78l6_1.html)

**OLIVAS VARELA, J. A.**, (2001), *La lógica borrosa y sus aplicaciones*, extraído del sitio web del profesor **Camacho Fernández, D.** el 03 de junio del 2011. URL: [http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/bp78l6\\_1.html](http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/bp78l6_1.html)

**RAMÍREZ, R.** (2008) *Simulación en simmechanics de un sistema de control difuso para el robot udlap*, (Tesis para obtener el título en Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica por la Universidad de las Américas Puebla) México UDLAP extraída el 12 de julio de 2011 de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/ramirez\\_r\\_o/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/). p. 18

### Anexo 17: Gestión de los RCD

**GARCÍA SAEZ, R.** (2004) *Manual para el uso del adoquín cerámico*. HISPALYT – SECCION ADOQUINES., España. [Versión electrónica] extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [www.pieraecoceramica.es/docs/cat\\_uso\\_adoq\\_ceram.pdf](http://www.pieraecoceramica.es/docs/cat_uso_adoq_ceram.pdf)

**BIGMAT** (s.f.) Adoquín de hormigón . Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [www.bigmat.es/pdfs/03\\_adoquin.pdf](http://www.bigmat.es/pdfs/03_adoquin.pdf)

**HOGAN, M.**, (2010) *How to reuse brick*. Extraído del sitio web eHOWHOME el 07 de noviembre de 2011 de: [http://www.ehow.com/how\\_7713128\\_reuse-brick.html](http://www.ehow.com/how_7713128_reuse-brick.html)

**THE BRICK CONSTRUCTION INDUSTRY ASSOCIATION** (1988) *Technical notes on brick construction: Technical Notes 15 - Salvaged Brick*. The brick construction industry association. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: <http://www.bia.org/TechnicalNotes/tabid/7658/Default.aspx>

**DOMÍNGUEZ, L. J. y MARTÍNEZ, L. E.** (2007). *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas*. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-3, pp. 43-54, ISSN: 1665-529X

**CONCRETOS RECICLADOS** (s.f.)*Materiales por reciclar y productos y servicios*. Extraído el 05 de noviembre del 2011 de: <http://www.concretosrecicladados.com.mx/es/productos.php>

**HERA, SUSTAINABLE STEEL CONSTRUCTION** (s.f.) *Steel Reuse*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [http://johnjing.co.nz/green\\_web/reuse.php](http://johnjing.co.nz/green_web/reuse.php)

**GERDAU AZA** (s.f.), *Reciclaje de la Construcción*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje\\_Construccion.asp](http://www.gerdauaza.cl/Reciclaje_Construccion.asp)

**REUSE-STEEL**(s.f.)*Projects*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: <http://www.reuse-steel.org/projects.aspx>

**STEEL RECYCLING INSTITUTE** (2009) *The Inherent Recycled Content of Today's Steel. Fact Sheet*. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.recycle-steel.org/en/Recycling%20Resources/Steel%20Recycling%20Rates.aspx>

**INTERNATIONAL STAINLESS STEEL** (s.f.) *The recycling of stainless Steel*. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.worldstainless.org/ISSF/Files/Recycling/Flash.html>

**OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE LA SOLDADURA** (s.f.) *Austeníficos*. Extraído del sitio web: Observatorio tecnológico de la soldadura el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.obtesol.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146&Itemid=30](http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=30)

**GERDAU AZA** (2009) *Por qué construir con acero reciclado?* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.revistatc.com/?p=2024>

**GERVÁSIO, H.** (s.f.) *La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.construccionenacero.com/Paginas/ArticulosPublicaciones-Revista.aspx p.19>

**INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP** (2007), *The World Copper Factbook 2007*, Extraído SCRIBD el 10 de febrero del 2011 de la dirección: <http://es.scribd.com/doc/7737663/2007-World-Copper-Fact-Book>.

**PROCOPRE** (2007) *Cobre para todos / Medio ambiente*. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [http://www.procobre.org/procobre/cobre\\_para\\_todos/produccion.html](http://www.procobre.org/procobre/cobre_para_todos/produccion.html)

**METALES CENTRIFUGADOS S.A. de C.V.** (s.f.) ¿Qué es el bronce?. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.metalescentrifugados.com/bronce.htm>

**FÚQUENE RETAMOSO, C. Et al;** (2010). Evaluación del impacto ambiental de uniones roscadas en bronce mediante el análisis del ciclo de vida (ACV) de productos. Ingeniería y Universidad [versión electrónica], extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47715443003>. ISSN 0123-2126.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD** (2010) ANEXO 4: Cuadros de información resumida sobre sustancias químicas. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: [http://search.who.int/search?q=cobre+t%C3%B3xico&ie=utf8&site=default\\_collection&client=\\_es&proxystylesheet=\\_es&output=xml\\_no\\_dtd&oe=utf8](http://search.who.int/search?q=cobre+t%C3%B3xico&ie=utf8&site=default_collection&client=_es&proxystylesheet=_es&output=xml_no_dtd&oe=utf8)

**ECOLOGISMO.COM** (2009) *Reciclaje de aluminio*, Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.ecologismo.com/2009/01/12/reciclaje-de-aluminio/>

**CEMPRE** (1998) Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Cap. V. CEMPRE, Uruguay. [versión electrónica] extraída el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71&Itemid=1](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=1)

**CHIODO J.,D.,** (2005) *Design for Disassembly Guidelines.*, Extraído el 06 de noviembre del 2011 de: [www.activedisassembly.com/guidelines/](http://www.activedisassembly.com/guidelines/)

**WASTE IDEALES** (s.f.) *Reciclar y recuperar la madera Una segunda oportunidad para un recurso natural imprescindible* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://waste.ideal.es/residuosmadera.htm>

**QUIMINET.COM** (2006) *Acilonitrilo Butadieno Estireno (ABS): Descripción, propiedades y aplicaciones*, Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.quiminet.com/articulos/acilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripcion-propiedades-y-aplicaciones-4433.htm>

**BASF PLASTICS** (2004) *Terluran BX-11000 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, extraído del sitio Polimat S.A. de C.V. el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.polymat.com.mx/polymat/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=shop.flypage&product\\_id=43&category\\_id=15&manufacturer\\_id=0&option=com\\_virtuemart&Itemid=44&vmcchk=1](http://www.polymat.com.mx/polymat/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=43&category_id=15&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=44&vmcchk=1)

**LUBRIZOL, FBC™ BUILDING SOLUTIONS** (2009) *Una nueva investigación demuestra cómo encajan las tuberías de plástico en los sistemas actuales con clasificación ecológica*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://espanol.lubrizol.com/BuildingSolutions/NewResearchShows.html>

**HANNEQUART, J.P. - ACRR** (2004) *Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

**PLASTICCOMPONENTS** (2011) Extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [http://www.plasticcomponents.com/about\\_the\\_company.asp](http://www.plasticcomponents.com/about_the_company.asp)

**ASOCIACIÓN ARGENTINA DEL PVC** (2005) *El PVC y el reciclaje*, Boletín técnico No. 17 Año 2005, extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf](http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf)

**ASOCIACIÓN ARGENTINA DEL PVC** (2005) *El PVC y el reciclaje*, Boletín técnico No. 17 Año 2005, extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf](http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf)

**HANNEQUART, J.P. - ACRR** (2004) *Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

**GYSAPOL**, (2009) *Proceso ecológico*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.gysapol.com/Proceso-Ecologico>

**HANNEQUART, J.P. - ACRR** (2004) *Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

**TECNOLOGÍA DE RECICLAJE**, (s.f.) *Tipos de Fibra*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.tder.com.mx/index\\_archivos/Page534.htm](http://www.tder.com.mx/index_archivos/Page534.htm)

**FIBERLAND** (s.f.) *faq - preguntas frecuentes*, Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.fiberland.com.mx/faq.html>

**MAQUINARIA PRO**, (s.f.) *El trabajo con fibra de vidrio* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.maquinariapro.com/materiales/fibra-de-vidrio.html>

**JOHNSON CONTROLS** (s.f.) *Soluciones de reciclaje automotriz ya en producción* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.johnsoncontrols.es/publish/es/es/about/sustainability/plasticos\\_ecologicos.html](http://www.johnsoncontrols.es/publish/es/es/about/sustainability/plasticos_ecologicos.html)

**FORO CIUDADES PARA LA VIDA** (Mayo 2004), *Inventario de elementos tóxicos peligrosos y contaminantes en materiales de construcción*, Documentos de trabajo. Perú: Ciudades para la vida y AVINA.

**RECICLAJE, BIODEGRADABLE.COM.MX** (s.f.) *Reciclado de vidrio en el hogar*, Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.biodegradable.com.mx/reciclado\\_vidrio\\_hogares.html](http://www.biodegradable.com.mx/reciclado_vidrio_hogares.html)

**USA GYPSUM** (s.f.) *La importancia del Reciclaje de Tablaroca* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.usagyypsum.com/recyclingimportance-es.aspx>

**DROGMULLER R et al** (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press.

## **MARCO LEGAL**

Con el fin de encontrar sustento legal y normativas vigentes referentes al tema aquí planteado se presenta la siguiente información relevante de los siguientes documentos:

- Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente
- Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos
- Ley de residuos sólidos del D.F.
- Reglamento de construcciones para el distrito federal
- Reglamento de la ley de residuos sólidos del distrito federal.
- Norma ambiental para el D.F. NADF-007-RNAT-2004. (Clasificación y especificaciones para el manejo de residuos de la construcción en el Distrito Federal)
- Normas de construcción de la administración pública del distrito federal
- Plan de manejo de residuos sólidos para trámites de impacto ambiental.

Mismos que se rigen en el orden en el que se presentan considerando una única estructura jurídica de la legislación nacional tal como se presenta en la ilustración 16.



Ilustración 85 Pirámide Jurídica de los Estados Unidos Mexicanos

### **LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE**

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988  
Última Reforma DOF 24-04-2012

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente fue publicada el 28 de enero de 1988 en el Diario Oficial de la Federación. En dicha Ley se establece la distribución de competencias entre los tres niveles de gobierno para participar en la gestión ambiental.

ARTÍCULO 7o.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

[...]

ARTÍCULO 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

[...]

II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes;

Fracción reformada DOF 13-12-1996

[...]

ARTÍCULO 137.- Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

Artículo reformado DOF 13-12-1996

### **LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS**

Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003  
Última reforma publicada DOF 19-06-2007

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como

prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.

Artículo 1.- (Refiere el objetivo que tiene de prevenir la contaminación de sitios ya sea por residuos peligrosos o residuos sólidos urbanos, así como llevar a cabo su remediación) y establecer las bases para:

I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos;

II. Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana;

III. Establecer los mecanismos de coordinación que, en materia de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos, corresponden a la Federación, las entidades federativas y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX-G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

IV. Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, sí como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas e gestión integral de los mismos;

V. Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos, así como establecer las disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales en la regulación de los residuos que conforme a esta Ley sean de su competencia;

VI. Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos;

VII. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados;

VIII. Promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales, en las acciones tendientes a prevenir la generación, valorización y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable, de conformidad con las disposiciones de esta Ley;

IX. Crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial, así como de sitios contaminados y remediados;

X. Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación;

XI. Regular la importación y exportación de residuos;

XII. Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos más limpios, y

XIII. Establecer medidas de control, medidas correctivas y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que corresponda.

Fracción reformada DOF 22-05-2006

Artículo 2 .- (Establece que debe existir una valorización de los residuos para su aprovechamiento como insumos en las actividades productivas y que corresponde a quien genere residuos, la asunción de los costos derivados del manejo integral de los mismos y, en su caso, de la reparación de los daños. De la misma forma, se establece como directriz ambiental la valorización de los residuos para su aprovechamiento como insumos en las actividades productivas, la responsabilidad compartida y el manejo integral de residuos, aplicados bajo condiciones de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos.)

Artículo 19.- Los residuos de manejo especial se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes:

I. Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera;

[...]

VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;

[...]

Artículo 27.- Los planes de manejo se establecerán para los siguientes fines y objetivos:

I. Promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos así como su manejo integral, a través de medidas que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, tecnológica, económica y social, los procedimientos para su manejo;

[...]

IV. Establecer esquemas de manejo en los que aplique el principio de responsabilidad compartida de los distintos sectores involucrados, y

V. Alentar la innovación de procesos, métodos y tecnologías, para lograr un manejo integral de los residuos, que sea económicamente factible.

#### LEY DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO FEDERAL

Publicada en la gaceta oficial del distrito federal el 22 de abril de 2003  
Última reforma publicada 26-11-2010

La ley de residuos sólidos del distrito federal tiene por objetivo regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como de prestar el servicio público de limpia.

Artículo 6.- (Se establece a la Secretaría de Medio ambiente del Distrito Federal como el organismo encargado de la integración de un inventario de los residuos sólidos y sus fuentes generadoras, en coordinación con la Secretaría de Obras y Servicios y las delegaciones, al mismo tiempo que es su

obligación promover la investigación, el desarrollo y la aplicación de tecnologías que minimicen el impacto de los contaminantes provenientes de los residuos sólidos y llevar a cabo la inspección y vigilancia del correcto manejo de residuos en el cumplimiento de las disposiciones tanto de esta Ley como de su Reglamento)

Artículo 23.- Las personas físicas o morales responsables de la producción, distribución o comercialización de bienes que, una vez terminada su vida útil, originen residuos sólidos en alto volumen o que produzcan desequilibrios, significativos al medio ambiente, cumplirán, además de las obligaciones que se establezcan en el Reglamento, con las siguientes:

I. Instrumentar planes de manejo de los residuos sólidos en sus procesos de producción, prestación de servicios o en la utilización de envases y embalajes, así como su fabricación o diseño, comercialización o utilización que contribuyan a la minimización de los residuos sólidos y promuevan la reducción de la generación en la fuente, su valorización o disposición final, que ocasionen el menor impacto ambiental posible;

II. Adoptar sistemas eficientes de recuperación o retorno de los residuos sólidos derivados de la comercialización de sus productos finales; y

III. Privilegiar el uso de envases y embalajes que una vez utilizados sean susceptibles de valorización mediante procesos de reuso y reciclaje.

Artículo 24.- Es responsabilidad de toda persona, física o moral, en el Distrito Federal:

I. Separar, reducir y evitar la generación de los residuos sólidos;

[...]

III. Fomentar la reutilización y reciclaje de los residuos sólidos;

[...]

Artículo 26. Los propietarios, directores responsables de obra, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables solidarios en caso de provocarse la diseminación de materiales, escombros y cualquier otra clase de residuos sólidos, así como su mezcla con otros residuos ya sean de tipo orgánico o peligrosos.

[...] Los responsables deberán transportar los escombros en vehículos adecuados que eviten su dispersión durante el transporte a los sitios que determine la Secretaría de Obras y Servicios.

Artículo 31.- Son residuos de manejo especial, siempre y cuando no estén considerados como peligrosos de conformidad con las disposiciones federales aplicables, y sean competencia del Distrito Federal, los siguientes:

[...]

V. Los residuos de la demolición, mantenimiento y construcción civil en general;

[...]

Artículo 32.- Los residuos de manejo especial estarán sujetos a planes de manejo conforme a las disposiciones que establezca esta Ley, su reglamento y los ordenamientos jurídicos de carácter local y federal que al efecto se expidan para su manejo, tratamiento y disposición final. Los generadores de residuos de manejo especial deberán instrumentar planes de manejo, mismos que deberán ser autorizados por la Secretaría.

Artículo 55.- Los productores y comercializadores cuyos productos y servicios generen residuos sólidos susceptibles de valorización mediante procesos de reuso o reciclaje realizarán planes de manejo que establezcan las acciones para minimizar la generación de sus residuos sólidos, su manejo responsable y para orientar a los consumidores sobre las oportunidades y beneficios de dicha valorización para su aprovechamiento.

Artículo 59.- Todo establecimiento mercantil, industrial y de servicios que se dedique a la reutilización o reciclaje de los residuos sólidos deberán:

[...]

III. Instrumentar un plan de manejo aprobado por la Secretaría para la operación segura y ambientalmente adecuada de los residuos sólidos que valore;

[...]

### REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

### CAPÍTULO III DE LOS MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

ARTÍCULO 200.- Los materiales empleados en la construcción deben ajustarse a las siguientes disposiciones:

I. La resistencia, calidad y características de los materiales empleados en la construcción, serán las que se señalen en las especificaciones de diseño y los planos constructivos registrados, y deben satisfacer las Normas de este Reglamento, y las Normas Oficiales Mexicanas o Normas Mexicanas, y

II. Cuando se proyecte utilizar en una construcción algún material nuevo del cual no existan Normas o Normas Oficiales Mexicanas o Normas Mexicanas, el Director Responsable de Obra debe solicitar la aprobación previa de la Secretaría de Obras y Servicios para lo cual presentará los resultados de las pruebas de verificación de calidad de dicho material.

### REGLAMENTO DE LA LEY DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO FEDERAL

7 de octubre de 2008

#### Artículo 16.-

[...]

Los planes de manejo presentados por generadores de residuos de construcción y aquellos donde las actividades que generen los residuos sean menores a un año, no serán objeto de la actualización.

Artículo 42.- *este artículo establece los requisitos aplicables tanto para el transporte como para el depósito de residuos de la construcción en sitios autorizados para ello.*

### NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL DISTRITO FEDERAL

*LIBRO 4, TOMO I  
CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA OBRA CIVIL. MATERIALES BÁSICOS  
Parte 01 Obra civil  
Sección 01 Materiales  
Capítulo 029 Residuos de la construcción reciclados*

*En este capítulo se dictan los requisitos que deben cumplir los materiales producto del proceso de reciclado para ser utilizados en:*

- Terraplenes
- Sub-bases
- bases
- carpetas asfálticas
- Plantillas
- Rellenos
- Cubiertas en áreas ajardinadas
- Mejoramiento de terreno bajo el nivel de la subrasante
- Explanadas.

Los residuos de la construcción como: Papel, madera, metales, plástico, residuos de podas, tala y jardinería, paneles de yeso, vidrio, entre otros no son considerados en este capítulo, en virtud de que su reuso no es aplicable a las obras consideradas previamente.

#### **NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-007-RNAT-2004, QUE ESTABLECE LA CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DE MANEJO PARA RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL**

Publicada el 14 de junio de 2006, en la Gaceta Oficial del Distrito Federal

En virtud de que la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal en su artículo 31 clasifica a los residuos de la construcción como uno de los residuos que deben ser manejados de manera especial dentro de la Ciudad de México, tanto por la cantidad de material involucrado y su impacto en el ambiente debido a una disposición inadecuada como por su potencial de reuso y reciclaje, se crea la presente norma ambiental mediante la cual se establece la clasificación y especificaciones para el manejo de los residuos de la construcción en el Distrito Federal; buscando fomentar el manejo adecuado de estos residuos así como fortalecer su reuso y reciclaje.

5. Disposiciones generales.- Clasifica los generadores de residuos de la construcción en categoría asignándoles requerimientos ambientales de acuerdo a su generación de residuos. Establece quien debe presentar un plan de manejo de residuos.

6. Clasificación de los residuos de la construcción.- Se hace una Clasificación enunciativa no limitativa de los residuos de la construcción en base a tres categorías generales:

- Residuos potencialmente reciclables para la obtención de agregados y material de relleno
- Residuos de excavación, y
- Residuos sólidos

7. Especificaciones técnicas para el manejo de los residuos de la construcción.- Señala una serie de disposiciones a seguir en las diferentes fases del manejo de los residuos de construcción. (Separación en la fuente, almacenamiento, recolección y transporte, aprovechamiento y disposición final)

#### **PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA TRÁMITES DE IMPACTO AMBIENTAL**

La presentación de los planes de manejo tiene su fundamento legal, en los artículos 23, 32, 55 y 59 fracción III de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, ya antes citados.

En el "Formato de Plan de Manejo de Residuos Sólidos para trámites de Impacto Ambiental" publicado por la dirección general de regulación ambiental de la SMA del distrito federal, se señala que los generadores de residuos de la construcción, deberán presentar el trámite denominado: "Plan de Manejo de Residuos Sólidos para generadores no sujetos a la LAUDF" a través del formato que esa misma dependencia proporciona. (ANEXO 2)

La LAUDF (Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal) Es el trámite de regulación obligatoria mediante el cual las fuentes fijas ubicadas en el Distrito Federal dan cumplimiento a las obligaciones ambientales.

## **MARCO CONCEPTUAL**

**Desconstrucción:** Se le denomina así al desmantelamiento selectivo de los componentes de una edificación enfocándose en su reutilización, reciclaje y/o gestión de residuos<sup>172</sup>. Es un concepto completamente distinto al de “deconstrucción”.

**Diseño para el reciclado:** o DfR (Design for Recycling) es uno de tantos métodos, (ver capítulo II) método en el cual se dirigen todos los esfuerzos del diseño a la incorporación de características específicas del reciclaje en el ciclo de vida de un producto. Además de ser una de las estrategias de Ecodiseño, es considerado como una metodología completa por su grado de especialización. (GARCÍA P., B., (2008) Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad, México, Designio. p.55)

**Ciclo de vida técnico (CVT):** Se toma como base la definición de vida útil que hace el reporte de la red DURAR (1997)<sup>173</sup>, la cual dicta que corresponde al Periodo en el que una estructura conserva los requisitos mínimos del proyecto sobre seguridad y funcionalidad, requisitos mínimos de desempeño técnico, bajo una cierta estrategia de mantenimiento que evite costos inesperados. (ver capítulo II)

**Ciclo de vida de uso (CVU):** Es el periodo de tiempo durante el cual se requiere que un edificio, o subsistema dentro de él, preste un servicio determinado. (ver capítulo II)

**Constructibilidad:** es definida por el instituto de la construcción de los Estados Unidos (CII -Construction industry institute-), como el uso óptimo de los conocimientos de la construcción y la experiencia para la planeación, producción, consecución y labor de campo a fin de alcanzar los objetivos generales planteados por el proyecto, que en este caso serían, el aprovechamiento maximizado de los materiales (AMM). (ver capítulo II)

<sup>172</sup> LEROUX K, & SELDMAN N. (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday's buildings for tomorrow's sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A., P.1

<sup>173</sup> RED DURAR, (1997) *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, citado en TORRES A., y MARTÍNEZ M., (2001) *Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad*. México: Publicación técnica de la Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del Transporte. p. 04

**Energía gris:** se refiere a la cantidad de energía consumida en todas las fases del ciclo de un producto, material o servicio

**EPyDAMM:** Estrategia de Planeación y Diseño para el Aprovechamiento Maximizado de Materiales

**Flujo de materiales:** es la manera en cómo atraviesan los materiales el conjunto de etapas que van desde su extracción, hasta su desecho. (Ver capítulo I)

**Gestión de los residuos:** Se refiere al proceso planeado para tratar o verter los residuos. Va desde la reutilización, la remanufactura, el reciclaje o el vertido de residuos.

**Infraestructura industrial de la construcción:** Es el conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación de los productos, bienes o servicios que ofrece esta industria, desde materiales casi vírgenes, hasta servicios muy especializado en asesoría para la construcción, o adecuación de espacios arquitectónicos.

**Reaprovechamiento:** Se refiere al empleo útil, provechoso, sacando el máximo rendimiento de un material o componente de construcción una vez que este ha cumplido un ciclo de vida útil o técnico. Este empleo útil y provechoso puede ser obtenido mediante distintas vías de gestión del material o componente: La reutilización o el reciclaje, ambos, a su vez, con sus respectivas variantes detalladas en el capítulo II.

**Residuos de construcción o demolición:** (RCD) Todo objeto proveniente de construcciones o demoliciones, de los que su propietario desee deshacerse. Una definición amplia nos dice que los residuos de construcción o demolición son cualquier sustancia u objeto que se genera como consecuencia de construcciones, demoliciones o reformas que presentan las características de inertes, tales como tierras, yesos, cementos, ladrillos, cascotes o similares, de las que su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, sin embargo para efectos del estudio presente se entenderá como RCD todo objeto proveniente de construcciones o demoliciones de los que su propietario desee deshacerse, con especial énfasis en el ámbito de la vivienda de interés social.



## ANEXOS

## ANEXO 1

### *El problema de los residuos y la baja cultura del reciclaje o reutilización en México*

El crecimiento desmedido de las manchas urbanas, ha generado entre los problemas de: reducción del espacio destinado a la agricultura, desaparición de las cadenas productivas agrícolas que han sido sustituidas por el sector terciario: servicios, vivienda y la especulación inmobiliaria<sup>174</sup>, otros que tienen que ver con una extracción desmedida de recursos naturales y una abundante contaminación debida a la generación de residuos.

De manera tradicional los gobiernos han optado por sistemas de tratamiento de residuos que simplemente ocultan el problema, enterrándolos en vertederos o quemándolos en incineradores; Sobre estos últimos, Annie Leonard (2010) expone que si bien son fructuosos en cuestiones económicas (a corto o mediano plazo o en una óptica superficial) y de labor mecánica, no lo son en el tema ambiental y tampoco en cuestiones de labor humana y de calidad de vida en comparación con otros métodos y técnicas de tratamiento de residuos. En la actualidad son las dependencias municipales - financiadas por los ciudadanos - las encargadas de lidiar con los desechos. Estas dependencias se las tienen que ingeniar de alguna manera para: recoger, transportar y verter de manera "segura" todos y cada uno de los productos que emana el sistema de producción industrial y de llevarlos a las zonas en donde han venido creciendo las montañas de escombros.

Este problema de los residuos en general es un tema de preocupación mundial. En Estados Unidos el retiro y transporte de los residuos supone un coste de 4.000 millones de dólares anuales. En Asia, el coste es de 25.000 millones de dólares, y se estima que esta cifra se duplique en el plazo de una generación<sup>175</sup>. En países como México en donde la cultura sobre la necesidad de recurrir a prácticas que tiendan hacia la reducción, reutilización o reciclaje de los residuos genera a la par montañas de basura altamente contaminantes.

A continuación se expone una tabla con los últimos datos estadísticos oficiales sobre la generación de basura en México, se puede observar la cantidad de basura que se genera por tipo, así como la que es reciclada; lo que resulta en un porcentaje sumamente bajo, toda vez que del total de los residuos sólidos no llega a ser ni el 3%.

---

<sup>174</sup> CONACYT, NOTICIAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, (junio 2005) *Estudian avance de la mancha urbana sobre los espacios agrícolas*. Extraído el 01 de octubre de 2010 de:

<http://148.207.1.2/comunicacion/agencia/notas-vigentes/Absorbe-mancha.html#Arriba>

<sup>175</sup> GREENPEACE, GREENPEACE, (junio 2002) *Cero Residuos: el camino a seguir*. Extraído de la página de Jaime Cuevas Rodríguez (docente de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid) el 20 de noviembre de 2010 de: [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/jaimefa/](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jaimefa/)

Tabla 24 Comparación de gestión de basura por tipo. Elaboración propia con datos del Sistema Nacional de

Tipo de basura	Generación de RSU*	Capacidad de rellenos sanitarios y rellenos de tierra controlados	Capacidad de sitios no controlados	Disposición de residuos sólidos urbanos en miles de toneladas		Reciclaje de RSU*	% de reciclaje del total de RSU*
				En lugares de entierro	En sitios no controlados		
Productos de papel	5,160.0	3,326.17	1,700.27	15%		389.80	1.27%
Textiles	520.1	335.26	171.38	2%		145	0.004%
Plásticos	2,115.8	1,363.86	697.18	6%		4.75	0.014%
Vidrios	2,210.0	1,424.58	728.22	6%		287.46	0.831%
Metales: Aluminio	606.0	390.63	199.68	2%		110.00	0.318%
Metales ferrosos	329.0	212.08	108.41	1%		55.08	0.159%
Metales: otros no ferrosos (incluye cobre, plomo, estaño y níquel)	225.0	145.04	74.14	1%		46.50	0.134%
Metales	1,160.0	747.74	382.23	3%		211.58	0.611%
Material orgánico	17,440.8	11,242.46	5,746.90	50%		0.00	0.000%
Otro tipo de basura	5,995.8	3,864.93	1,975.67	17%		0.00	0.000%
<b>TOTALES*</b>	<b>34,602.5</b>	<b>22,305.01</b>	<b>11,401.84</b>	<b>22,305.01</b>	<b>11,401.84</b>	<b>895.04</b>	<b>2.587%</b>

**Fuente:**

Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, marzo, 2005.

\* en miles de toneladas

Metales incluye aluminio, ferrosos y otros no ferrosos (cobre, plomo, estaño y níquel)

Material orgánico se refiere a basura de comida, de jardines y materiales orgánicos similares

Otro tipo de basura se refiere a residuos finos, pañales desechables, etc.

Datos estadísticos del 2004

RSU = Residuos sólidos urbanos

Lugares de entierro comprende rellenos sanitarios y rellenos de tierra controlados

**ANEXO 2**

**Los materiales de construcción y su toxicidad**

Para los fines que tiene el presente trabajo de investigación resulta interesante analizar de manera breve aquellos residuos de construcción o demolición potencialmente peligrosos para el ser humano o el medio ambiente.

**Tabla 25 Materiales de construcción altamente tóxicos. Fuente: Arelys., (2007) Citado en RIVERA MERA (2007)**

<b>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN ALTAMENTE CONTANIMANTES</b>	
<b>MATERIAL/SUSTANCIA</b>	<b>PROBLEMA</b>
Aglomerado de madera ( <i>hardboard</i> )	Emanaciones del formaldehido de las resinas ureicas y fenólicas. El Formaldehido puede causar irritación a la piel, ojos, la nariz y la garganta. La exposición a altos niveles puede producir ciertos tipos de cáncer.
Aislamiento de espuma plástica (Poliuretano o PVC)	Emanaciones de componentes orgánicos volátiles. Humo muy tóxico al inflamarse
Aislamiento de fibra de vidrio	El polvo de lana de vidrio es un carcinógeno, la resina plástica ligante contiene fenol formaldehido.
Alfombras sintéticas	Acumulan polvo, hongos y producen emanaciones de componentes volátiles. Los adhesivos aplicados también emiten gases nocivos Se cargan fácilmente de estática.
Tubería de cobre para agua (que requiera soldadura de plomo)	La soldadura de plomo (ya prohibida en muchos países) desprende partículas de este metal.
Tubería de plástica (PVC) para agua.	Los solventes de los plásticos y adhesivos e hidrocarburos clorados se disuelven en el agua.
Ladrillos refractarios	Contienen distintos porcentajes de aluminio tóxico
Pinturas sintéticas de interior	Emanan componentes orgánicos volátiles y gases de mercurio
Pisos vinílicos o plastificados	Producen emanaciones tóxicas del material y de los adhesivos
Sistemas de acondicionamiento de aire	Los filtros mal mantenidos desarrollan hongos, las parrillas de condensación albergan gérmenes aeropatógenos, el sistema distribuye contaminantes.
Asbesto	Las fibras de asbesto no se degradan en otros compuestos por lo que permanecen virtualmente inalteradas por periodos largos de tiempo. El asbesto afecta principalmente a los pulmones y a la membrana que envuelve a los pulmones (pleura)provocando dos tipos de cáncer: cáncer de pulmón y mesotelioma.

A continuación se presenta una tabla indicando la toxicidad de los materiales y la etapa en la que son empleados en la construcción.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## USO DE MATERIALES POR ETAPA DEL PROYECTO DE LA CONSTRUCCIÓN y TOXICIDAD DE LOS MISMOS

ETAPAS	MATERIALES UTILIZADOS	SUSTANCIAS TÓXICAS	MOMENTO DE TOXICIDAD
cimentación	Estructuras, varillas, planchas galvanizado	Acero	Fabricación, reparación
		Manganeso, cadmio, níquel, zinc	Extracción
Mampostería	Blocks, ladrillos, cemento	Cemento	Fabricación, reparación
		Concreto	Fabricación, reparación
		Concreto (polvo)	Fabricación, reparación
		Fierro galvanizado	Fabricación, reparación
Instalaciones sanitarias	Tuberías, tanques de agua, aparatos sanitarios, cañerías	Material particulado	Fabricación
		Polvo	
		Plomo	
Instalaciones eléctricas	Cables eléctricos	PVC	Extracción, fabricación
		Cobre	
		fibras de asbesto	
Enjarre	Cemento, agua, arena gruesa	Tanques de agua: asbesto-cemento	
		cemento	
Herrería	Soldaduras (pinturas, fundentes, desengrasantes), cañerías	Cables, revestimientos	Fabricación del PVC
		Plásticos flexibles	
Carpintería	Madera prensada (transformación de la madera)	Plásticos rígidos	
		Polvos	
Acabados de madera	Muebles: Pinturas y protección para la madera	Polvos	Extracción, residuos
		Polvos	
		Silice, cal	
Muros	Ladrillos, cemento, pintura, Masillas, Revestimientos impermeabilizantes	Aglomerados, contrachapados	Fabricación de la madera aglomerada o contrachapada
		Formaldehído, asbesto	
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	tintes	puesta en obra
		Benceno, plomo, mercurio	
Pisos	Pisos vinílicos	Barniz	
		Benceno, solventes	
		Pintura	
Techos	Planchas onduladas planas	plomo, cadmio, zinc, mercurio, bario	
		plomo, cadmio, zinc, mercurio, bario	
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	plomo, cadmio, zinc, mercurio, bario	
		Pentaclorofenol, cromo III, arsénico, mercurio	Transformación de la madera, elaboración de muebles. (astillas)
Muros	Ladrillos, cemento, pintura, Masillas, Revestimientos impermeabilizantes	Barnices	
		Benceno, bifenilos policlorados	
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	Plastificantes	
		Bifenilos policlorados	
Pisos	Pisos vinílicos	Removedores	Empleo y eliminación
		Cloruro de metileno, tricloroetileno	
Techos	Planchas onduladas planas	Masillas	
		Bifenilos policlorados	
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	Benceno	
		Bifenilos policlorados	
Pisos	Pisos vinílicos	Manganeso, cadmio, níquel, zinc	Fabricación
		Cadmio	Solduras
Techos	Planchas onduladas planas	Pigmentos	Mantenimiento
		Cromo, zinc, bario	
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	PVC, fibras de asbesto	Fabricación
		Alquitrán, brea, formaldehído	Puesta en obra
Pisos	Pisos vinílicos	PVC, formaldehído, fibras de asbesto	Fabricación, puesta en obra
Techos	Planchas onduladas planas	Cemento y fibras de asbesto	Fabricación
		Formaldehído	Puesta en obra
Acabados de metal	Rejas, barandas, escaleras de caracol	Cemento y fibras de asbesto	Mantenimiento

Fuente:

FORO CIUDADES PARA LA VIDA (2004) DESARROLLO DE CAPACIDADES PARA LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE: INVENTARIO DE ELEMENTOS TÓXICOS

El asbesto, no obstante es un producto natural, diversos organismos como: el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (Environmental Protection Agency - EPA) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) lo consideran como altamente carcinogénico en seres humanos<sup>176</sup>. No obstante esto y su prohibición en algunos países, debido a la gran gama de aplicaciones que posee y por tratarse de un material económico, hasta la fecha se sigue empleando en ciertas construcciones.

Sus usos más frecuentes los encontramos en:

- Techos y tejas (los populares techos ondulados de asbesto cemento).
- Recubrimiento de paredes.
- Baldosas o azulejos para pisos.
- Hornos, calderas y estufas de leña o de carbón y sus cañerías y conductos.
- Material de decoración aplicado con rociador en paredes y techos.
- Pinturas con textura, rellenos y empalmes de paredes y techos.
- Aislante en paredes, techos y puertas cortafuegos.
- Tuberías de agua de alta presión.
- Placas acústicas, para aislamiento sonoro.
- Tuberías de agua y como aislante de tuberías.

---

<sup>176</sup> ATSDR, (2001), citado en: RIVERA MERA C., (2007) Op cit. p.81

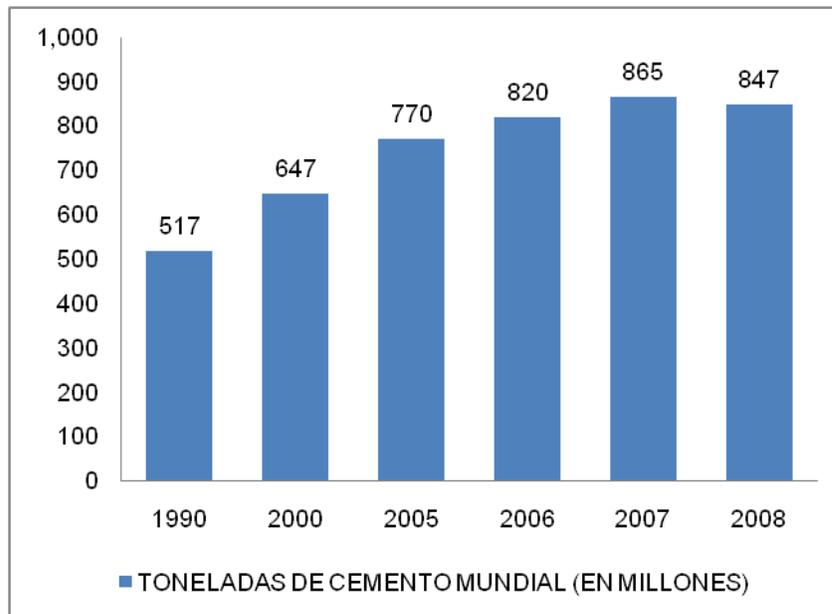
### ANEXO 3

#### Producción de cemento de participantes del GNR

"Getting the Numbers Right" (GNR) es una base de datos voluntaria, que proporciona información referente a la producción de CO2 y la eficiencia de energía en la industria del cemento mundial. Actualmente cubre más de 900 instalaciones de producción de cemento, propiedad de 46 empresas, que representan aproximadamente el 30% de la producción mundial de cemento.

Algunos de los datos obtenidos por esta base de datos, citados en el WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT se muestran en la table y gráfica que se muestran a continuación.

AÑO	TONELADAS DE CEMENTO MUNDIAL (EN MILLONES)
1990	517
2000	647
2005	770
2006	820
2007	865
2008	847



**Fuente:** WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: (s.f.)Cement production. Extraído el 05 de noviembre del 2010 de: [http://www.wbcsdcement.org/gnr-2008/world/GNR-Indicator\\_311b-world.html](http://www.wbcsdcement.org/gnr-2008/world/GNR-Indicator_311b-world.html)

## ANEXO 4

### Ejemplos documentados de desconstrucciones con beneficios económicos

En 1996, se empleó una desconstrucción para dismantelar una gran estructura de 854 m<sup>2</sup> en el fuerte de Monterey California. Un equipo de cinco tomó un mes para dismantelar el edificio. Se las arreglaron para recuperar el 87 por ciento de los materiales de construcción, incluyendo 66 mil pie-tablón de madera aserrada de edad madura. El coste neto de la desconstrucción, después de la venta de material, fue USD\$ 9.340. El costo de la demolición proyectada era de USD\$ 16.800<sup>177</sup> (Tabla 26).

**Tabla 26. Comparación Desconstrucción-Demolición**

	DECONSTRUCCIÓN	CUOTA DE DEMOLICIÓN
<b>GASTOS</b>		
Mano de obra	\$33,000.00	
Logística	\$12,000.00	
Administración	\$8,000.00	
Total de gastos	\$53,000.00	\$16,800.00
<b>INGRESOS</b>		
Venta de material recuperado	\$43,660.00	
<b>Costo Neto</b>	<b>\$9,340.00</b>	<b>\$16,800.00</b>
<i>*cifras en dólares</i>		

En la Tabla 27 se exponen algunos otros casos en los que se llevó a cabo una desconstrucción, mostrando el porcentaje de material recuperado.

Los métodos de cálculo varían significativamente en cada ejemplo por lo que estos proyectos no deben ser comparados entre sí de manera directa. La información que se presenta es tan solo para demostrar el potencial de recursos que se pueden obtener tras la desconstrucción<sup>178</sup>

Como dato importante, la ciudad de Hartford, Connecticut ha reservado fondos para incentivar la desconstrucción de 350 edificios abandonados como parte del programa para apoyar a compañías de desconstrucción<sup>179</sup>.

**Tabla 27. Tasas de desconstrucción por proyecto**

Tasas estimadas de reutilización o reciclaje en sitios con desconstrucción	
Edificio 901 en el fuerte de San Francisco CA.	87%
Cuarteles de la armada de Estados Unidos en el fuerte McCoy, WI.	85%
Cuarto de máquinas de la piscina de la Naval FISC en San Diego CA.	84%
Proyecto de demostración del fuerte Ord Pilot, en Marina, CA.	80-90%
Almacenes en el "Twin cities army ammunition Plant", MN.	60-80%
Cuatro unidades residenciales en Baltimore, MD.	76%
Almacén en el puerto de Oakland, CA.	70%
Edificios residenciales cerca de Minneapolis (proyectos institucionales verdes)	50-75%

<sup>177</sup> U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, (s.f.) *Installation Support Division, Alexandria, VA, Alternatives to demolition for Facility reduction, DEPARTMENT OF THE ARMY U.S.*, [versión electrónica] publicada en el sitio web de Whole building design guide (WBDG), extraído el 03 de diciembre del 2010 de: [http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb\\_420\\_49\\_30.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/ARMYCOE/PWTB/pwtb_420_49_30.pdf) P. 16,17

<sup>178</sup> LEROUX K, & SELDMAN N. (2000) *Deconstruction: Salvaging yesterday's buildings for tomorrow's sustainable communities*, (2da. Ed.) E.U.A., p.10

<sup>179</sup> LEROUX Kivi, Seldman Neil, *Op cit.*, P.4

Hasta ahora solo se han mostrado edificios deconstruidos, pero naturalmente, las bondades de esta estrategia se ven reflejadas en el empleo de estos materiales recuperados. En la actualidad son pocos los edificios que han utilizado esos materiales provenientes de desconstrucciones para su realización, (como ya se mencionaba el programa LEED, evalúa esto entre otras cuestiones), tal es el caso del Centro Eco-empresarial Phillips (PEEC), del cual una publicación de "The Royal institution of chartered surveyors" señala las siguientes características:

Se abasteció localmente más del 90% de todos los materiales

En la fachada se empleó ladrillo recuperado

La superestructura se realizó con acero recuperado

La carpintería está hecha a base de madera recuperada

Los pisos y accesorios empleados provienen de material recuperados

Las cenizas volantes sirvieron para la fabricación de paneles de concreto.

Las alfombras son recicladas y reciclables

Los azulejos empleados provienen de vidrio reciclado

79% de los residuos de construcción pueden reusarse o reciclarse<sup>180</sup>



Ilustración 86 PEEC extraído de: [greenvaluecasestudies](#)

## ANEXO 5

### Edificio de la Castañeda

El Edificio de la Castañeda, es un ejemplo de un caso en el que un edificio fue desconstruido por el simple hecho de ser del agrado de un promotor, con los recursos suficientes para conservarlo parcialmente en otro sitio. Su balaustrada y fachada principal fueron compradas por Arturo Quintana para ser reconstruidas en Amecameca en un lugar conocido como la Casa Grande, actualmente propiedad de los Legionarios de Cristo.<sup>181</sup>

Este edificio es un ejemplo de lo que supone un intento por reutilizar elementos de edificaciones que no tuvieron una planeación que facilitara esta tarea. Para 1910, año en que fue inaugurado este edificio, los aspectos de sustentabilidad en las edificaciones eran prácticamente nulos, en el sentido de poder reaprovechar los elementos edificatorios. Esto hizo que para 1968<sup>182</sup>, año en que fue demolido por completo, el interés por reaprovechar parte de este edificio demandara una labor de desensamble bastante compleja, que hizo necesaria la enumeración del edificio piedra por piedra para posteriormente ser reconstruido en otro sitio. Cabe mencionar que el interés por reaprovechar los materiales y componentes de este edificio, como se comentó en un inicio, no surgió por las cuestiones de sustentabilidad, si no que por un aspecto de agrado estético de la edificación.

## ANEXO 6

### Ecoeficiencia

Uno de los objetivos de diseño que se requieren para implantar la ecología industrial es la ecoeficiencia.

<sup>180</sup> THE ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS. *Green Value, Green buildings, growing assets, Case studies*, <http://www.metrovancouver.org/about/publications/Publications/greenvaluecasestudies1.pdf>

<sup>181</sup> HERNÁNDEZ, J (agosto 2010) *La historia desconocida del hospital La Castañeda*. Extraído de sitio en línea del universal el día 05 de diciembre del 2011 de: <http://www.eluniversal.com.mx/sociedad/6377.html>

<sup>182</sup> GARCÍA P. (s.f.) *El manicomio de la Castañeda*. Extraído el 04 de diciembre del 2011 de: <http://bicentenario.com.mx/?p=10927&cp=all>

La ecoeficiencia se mide en factores, así, por ejemplo un factor dos de ecoeficiencia en un producto se obtiene en términos generales cuando se logra satisfacer las necesidades para las cuales está diseñado, consumiendo la mitad de los recursos necesarios para ello<sup>183</sup>. Marcus Lehni, citado en el texto de Capuz Rizo, menciona en forma precisa lo que implica el objetivo de la ecoeficiencia:

"Se dice que una empresa consigue la ecoeficiencia cuando oferta productos y servicios a un precio competitivo, que satisfacen necesidades humanas incrementando su calidad de vida, mientras a lo largo de su ciclo de vida reducen progresivamente el impacto ambiental y la intensidad del uso de recursos, al menos, hasta el nivel de la capacidad de carga del planeta"<sup>184</sup>

Como dato importante vale la pena señalar que para hacer sostenible el desarrollo de las sociedades futuras del planeta, de continuar el ritmo de crecimiento de la población y el ritmo del crecimiento del consumo per cápita con las tasas actuales, en 20 años será necesario mejorar la ecoeficiencia en un factor 10, esto es: ofrecer el doble de bienes y servicios actuales con un quinto de consumo de recursos<sup>185</sup>.

## ANEXO 7

### Análisis de ciclo de vida

Tradicionalmente, cuando se buscaban "soluciones amigables" con el medio ambiente, se realizaban estudios que hoy podríamos definir como superficiales, pues en la mayoría de los casos solo se consideraban los impactos ambientales causados por los productos durante la fabricación, o a lo mucho se llegaba a considerar sus impactos durante el uso de los mismos, sin embargo estos enfoques demostraron ser claramente insuficientes en términos de sustentabilidad y ecoeficiencia. De ahí que surgieran nuevas técnicas para la evaluación a priori de los potenciales impactos medio ambientales, siendo la más conocida el Análisis de ciclo de vida (ACV). Esta técnica se ha universalizado, generando a su vez una serie de normas internacionales como la serie ISO 14040. En este sentido, el análisis de ciclo de vida debe entenderse como una metodología claramente definida por cuatro fases que son detalladas en la obra del Dr. Capuz Rizo (1980)<sup>186</sup> y que aquí solo se comentan de manera enunciativa:

1. Definición del objetivo y el alcance.
2. Análisis de inventario.
3. Evaluación de impacto.
4. Interpretación de resultados.

## ANEXO 8

### La teoría de sistemas

Etimológicamente, el término *sunistemi* (sistema) designa un conjunto formado de partes, elementos u objetos relacionados entre sí y que es necesario comprender en su recíproca articulación.

Como señala el Arq. Álvaro Sánchez (1982), los sistemas para sobrevivir deben modificar su tendencia al desgaste o desorden, a la dispersión de la energía a su destrucción, al caos. Esta tendencia se denomina entropía, o principio de la extinción o dispersión de la energía que un sistema posee para su operación al iniciar su vida<sup>187</sup>.

Para entender de forma sencilla a lo que esto se refiere, cuando se investiga un objeto o fenómeno cualquiera, se opta siempre entre dos enfoques metodológicos: considerando que el fenómeno u objeto es parte de un sistema o bien aislándolo. Esta decisión dependerá de las características de dicho objeto o fenómeno.

La Teoría de Sistemas se fundamenta en tres premisas esenciales:

1. Los sistemas existen dentro de otros sistemas. Se refiere al hecho de que, todo sistema a pesar de que puede ser analizado y pensado de forma independiente se encuentra incluido dentro de otro sistema mayor.

<sup>183</sup> Más detalles sobre la crisis ecológica y factores de ecoeficiencia ver: **Ulrich Ernst et al.** *Factor 4: duplicar el bienestar con la mitad de los recursos naturales*, Galaxia Gutenberg-Círculo de Lectores, Madrid, 1997.

<sup>184</sup> **CAPUZ RIZO, S., Et al.** (2004), *Ecodiseño: ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, España: Universidad Politécnica de Valencia, p. 251. p. 46

<sup>185</sup> **CAPUZ RIZO, S, Et al.** *Op. cit* P. 46

<sup>186</sup> **CAPUZ RIZO, Salvador, Et al.** *Op cit.* P. 116

<sup>187</sup> **SÁNCHEZ, Á.** (1982). *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos: introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo*. México: Trillas. P. 428

Un ejemplo de esto podría ser el ser humano el cual visto como un sistema, forma parte de y está formado por otros sistemas es decir, está conformado de organismos formados a su vez de órganos, formados por tejidos, formados por células y así sucesivamente y de manera inversa el ser humano forma parte de una grupo social el cual forma parte de una sociedad la cual forma parte de una cultura y así sucesivamente.

2. Los sistemas son abiertos. Tiene mucho que ver con la primer premisa dado que cada sistema recibe y provee algo a otros sistemas principalmente a aquellos que le son contiguos.

Los sistemas abiertos son caracterizados por un proceso de intercambio infinito con su ambiente y con otros sistemas. Cuando deja de haber este intercambio, el sistema tiende a desintegrarse debido a que está perdiendo sus fuentes de energía.

Por ejemplo, si una organización no obtiene los recursos (técnicos, materiales y humanos) suficientes para llevar a cabo sus procesos de transformación, difícilmente podría funcionar y ofrecer un servicio o producto al público.

3. Las funciones de un sistema dependen de su estructura. Volviendo al ejemplo del ser humano, sus tejidos musculares, se contraen porque están constituidos por una estructura celular que permite contracciones. Así cualquier sistema conformado para alcanzar una función determinada, debe contar con cierta estructura que le permita actuar en función de ella.

## ANEXO 9

### Enfoque sistémico de la construcción

Diversos autores han abordado la arquitectura desde la teoría de sistemas en sus publicaciones, desde Sánchez (1982), Meritt (1990), Habraken, pasando por Leupen, Duffy y Brand. En todos estos trabajos se ha hecho referencia al edificio como un sistema compuesto por un grupo de niveles o subsistemas, lo que resulta en la conclusión de que el Edificio propiamente dicho no es otra cosa que un sistema multidimensional compuesto por una cantidad variable de capas constructivas, con diferentes funciones y/o ciclos de vida.

En 1960 Habraken sugiere en su libro "*De dragers en de mensen' supports*" que el entorno edificado puede ser dividido en tres niveles: El tejido urbano, la base de construcción o apoyo y el equipamiento o relleno.<sup>188</sup>

Posteriormente Leupen retoma la definición de Habraken y sugiere que la flexibilidad deriva de la combinación de cinco niveles funcionales de la construcción: Sitio, soporte, equipamiento, instalaciones y mobiliario los cuales se pueden enmarcar dentro de dos niveles de toma de decisiones: soporte y relleno<sup>189</sup>, aclarando el hecho de que el término "soporte" no deriva de su definición de soporte de cargas físicas en la construcción, si no del hecho de que debe proveer aquello que los ocupantes, como comunidad, comparten. Por ejemplo los elementos que conforman la fachada pueden ser parte del soporte en algunos casos y parte del equipamiento en otros.

Otro acercamiento a la sistematización de los niveles de cambio dentro de un edificio la proporcionaron los arquitectos Francis Cuthbert Duffy<sup>190</sup> y en especial Stewart Brand<sup>191</sup> quienes argumentaron que la sistematización de un edificio debe de ser en base al ciclo de vida de uso de los diferentes componentes de la edificación, y es a través de un análisis de la naturaleza de cambio en los edificios de oficinas, que Duffy define a la edificación en cuatro capas denominadas las cuatro S's por su terminología en ingles, siendo estas:

- Shell: Caparazón o estructura de soporte. Su ciclo de vida de uso promedio es, según Duffy, de 50 a 75 años en Estados Unidos mientras que en países como Japón es de 30 a 35 años.
- Services: Servicios e instalaciones tales como cableado, tuberías hidráulicas y sanitarias, aire acondicionado, elevadores, escaleras mecánicas y su ciclo de vida de uso es de 15 a 20 años.
- Scenery: La escenografía, elementos que modifican el espacio, tales como muros divisorios, plafones y acabados, los cuales tienen una duración promedio de 5 a 7 años.
- Set: Mobiliario, el cual continuamente es cambiado de lugar por los usuarios.

Brand hace una extensión del planteamiento de Duffy de las cuatro S's proponiendo las siguientes capas: sitio, estructura, envolvente, servicios, planificación del espacio y mobiliario. (ver Capítulo II ilustración 2)

<sup>188</sup> DURMISEVIC, E. (2006), *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Holanda: Cedris M&CC, p. 100

<sup>189</sup> DURMISEVIC, E (2006), *Op cit.* 102

<sup>190</sup> DUFFY & HENNEY (1989) citados en OLSON T. (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A.: Washington State University, p. 10

<sup>191</sup> BRAND, S. (1989) citado en OLSON T. (2010) *Design for deconstruction and modularity in a sustainable built environment*, E.U.A.: Washington State University, p. 10

- Sitio: corresponde a la ubicación urbana. El terreno que naturalmente sobrevive más tiempo que las edificaciones mismas. De acuerdo con Brand y Duffy, el sitio es eterno.
- Estructura: La cimentación y los elementos portantes que tienen una duración entre 30 y 300 años. Sin embargo son pocos los edificios que duran más de 50 años.
- Envolvente: La envolvente exterior, incluye la cubierta y las fachadas. Estas son actualizadas cada 20 años aproximadamente.
- Servicios: Se refiere al HVAC, (que incluye las instalaciones para el calentamiento, ventilación, y aire acondicionado), las comunicaciones y el cableado eléctrico. Estas sufren un desgaste completo después de 7 a 15 años.
- Planificación del espacio: Es la capa interior que incluye muros divisorios, plafones y pisos falsos. De acuerdo a Brand, en espacios comerciales esta capa puede modificarse cada 3 años.
- Mobiliario: Finalmente esta ultima capa, puede ser movida de manera diaria, semanal o mensual.<sup>192</sup>

Sánchez (1982) analiza al edificio como un conjunto de componentes que trabajan en conjunto a fin de satisfacer necesidades de espacio o de servicio. Estos componentes los clasifica a su vez como parte de dos grandes sub-sistemas: el arquitectónico y el constructivo (edificado). El arquitectónico es en el que interactúan los componentes a fin de cumplir los objetivos o propósitos para los que fue construido el sistema edificio, y el constructivo (edificado) se conforma de aquellos componentes que interactúan para implementar, operar y mantener el sistema arquitectónico. Se distingue principalmente por contener el objeto construido (muros, cubiertas etc.).

Este último sistema es el que conviene ahora explicar más a detalle mediante la agrupación de cuatro niveles genéricos los cuales son:

El elemento, que se define como un componente mayor del edificio.

El componente es el siguiente nivel de parte no estructural, (a menudo requiere de los elementos para su sujeción o colocación).

El subcomponente proviene de la descomposición del componente y finalmente

Los materiales, es con lo que están hechos todos y cada uno de los subcomponentes.

En esta lógica tenemos que la combinación y transformación de los materiales existentes forman todos los subcomponentes los cuales agrupados crean los componentes que finalmente cumplen una función dentro de los elementos, siendo estos últimos los que dan forma al sistema edificado.

## ANEXO 10

### Breve reseña del Dr. Abdol Chini

El Dr. Abdol Chini es actualmente profesor de construcción y director de la M.E. rinker School of building construction en la universidad de Florida. Obtuvo su doctorado en ingeniería estructural en 1986 por la universidad de Maryland en College Park. Ha llevado a cabo una amplia investigación en temas de reutilización y reciclaje de materiales de construcción, incluyendo el reciclaje de agregados de concreto, aguas residuales generadas en plantas de producción de concreto y madera recuperada de edificios desconstruidos, todo ello con el fin de minimizar el impacto ambiental.

Ha sido gerente de control de calidad en diversos proyectos de construcción en el área metropolitana de la ciudad de Washington. Fue coordinador del grupo de trabajo 39 (Deconstruction) del consejo internacional para la investigación y la innovación en la construcción (CIB).

Ha publicado tres libros y más de ochenta artículos.<sup>193</sup>

---

<sup>192</sup> DURMISEVIC, E (2006), *Op cit.* p. 103

<sup>193</sup> CIB INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING CONSTRUCTION (s.f.) Prof. Dr. Abdol Chini. Recuperado el 04 de diciembre de 2011 de: [www.uni-siegen.de/fb10/subdomains/cibw115/coordination/shini.html?lang=de?lang=de?lang=de%23top%23top%23top](http://www.uni-siegen.de/fb10/subdomains/cibw115/coordination/shini.html?lang=de?lang=de?lang=de%23top%23top%23top)

ANEXO 11

*Ejercicios para concentrar los principios para el aprovechamiento de materiales en un esquema general.*

El resultado de los primeros intentos por concentrar de manera resumida todos los principios que intervienen en la planeación y diseño de proyectos que pretendan un aprovechamiento maximizado de materiales dio como resultado un esquema con 20 items a evaluar.

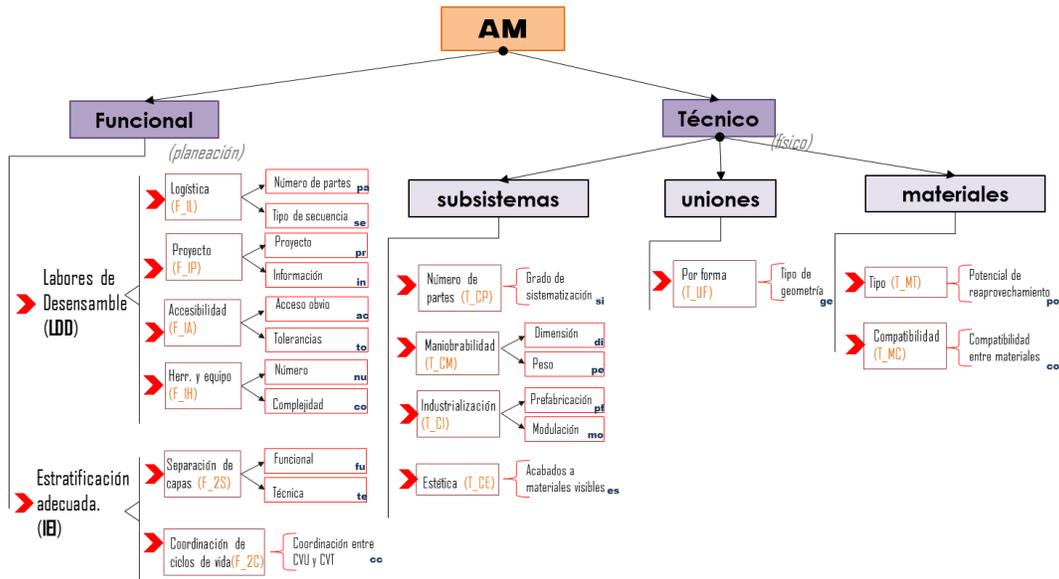


Ilustración 87 Esquema 1 de principios para el AMM

En un segundo intento por resumir esta gran cantidad de puntos se obtuvo como resultado un esquema con 12 cuestiones que resultaron ser un tanto ambiguas para la obtención de una evaluación.

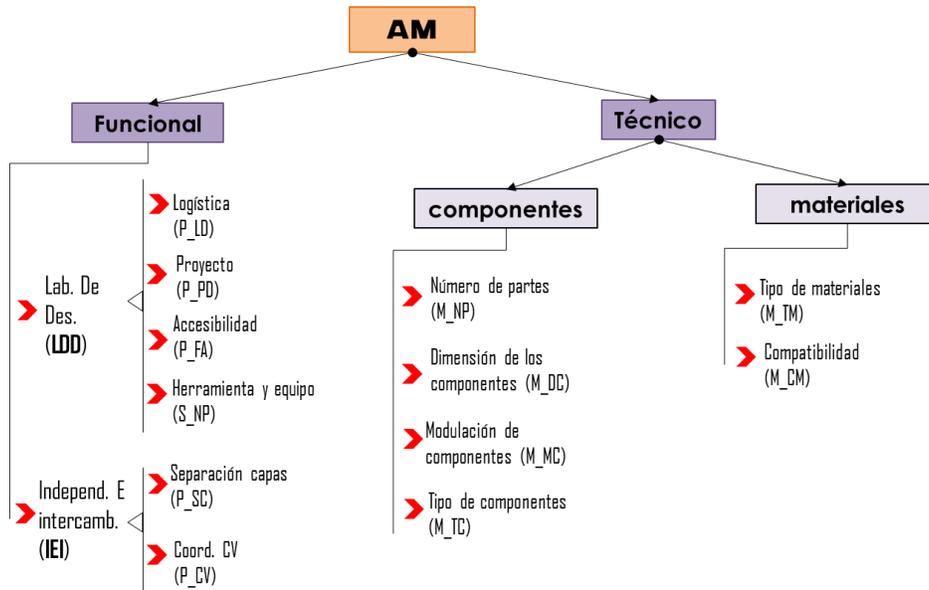


Ilustración 88 Esquema 2 de principios para el AMM

Posteriormente se replanteó el esquema con 19 items. Esta vez el resultado fue bastante mas cercano ya al resultado final. En este esquema aún se tenían algunos conceptos algo ambiguos pero ya se habi depurado y la relación entre los conceptos era algo que aún no estaba bien clara.

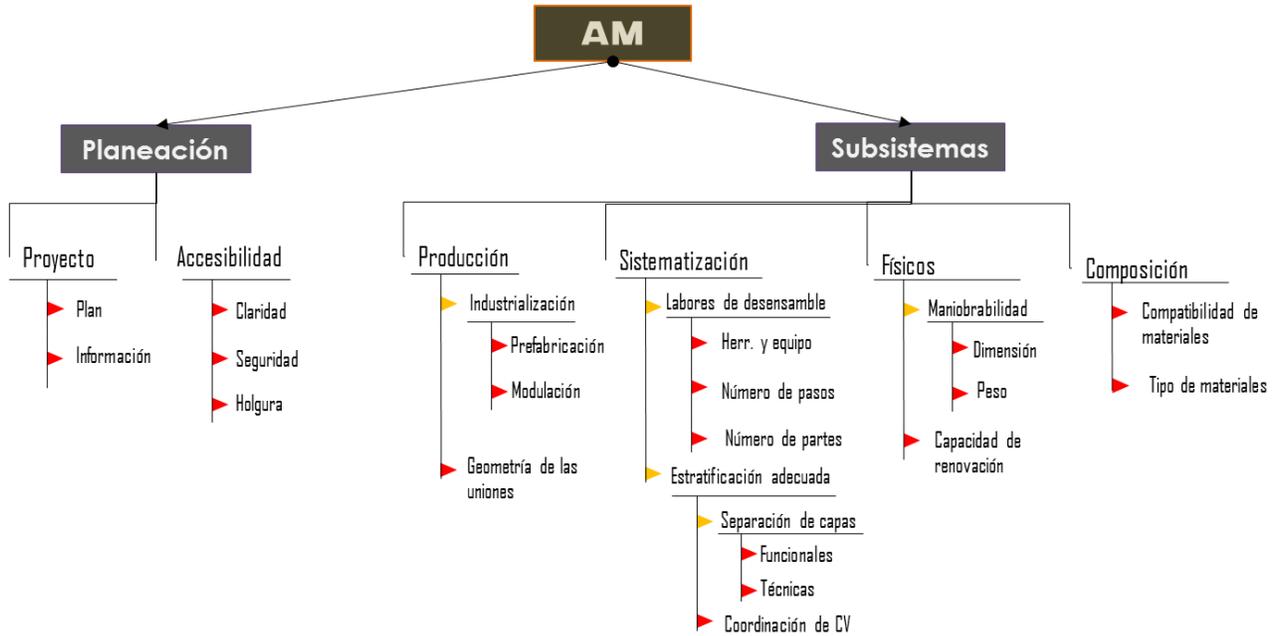


Ilustración 89 Esquema 3 de principios para el AMM

Se estudió la relación entre los principios resultantes del último esquema. Se revisó cuáles repetían cuestiones a evaluar y donde cabían "lagunas" de puntos sin evaluar. Esto dio como resultado un 4 esquema.

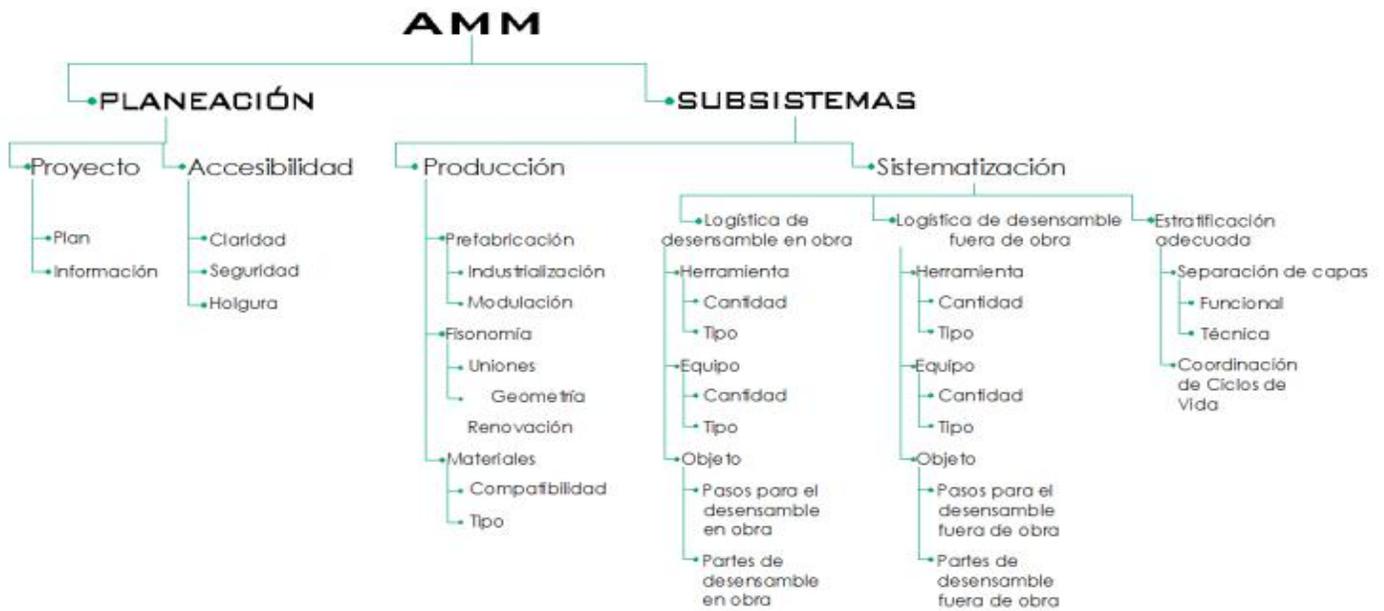


Ilustración 90 Esquema 4 de principios para el AMM

Finalmente, se intentó de aplicar este cuarto esquema a un caso de estudio, dando como resultado el esquema que se detalla en el capítulo IV.

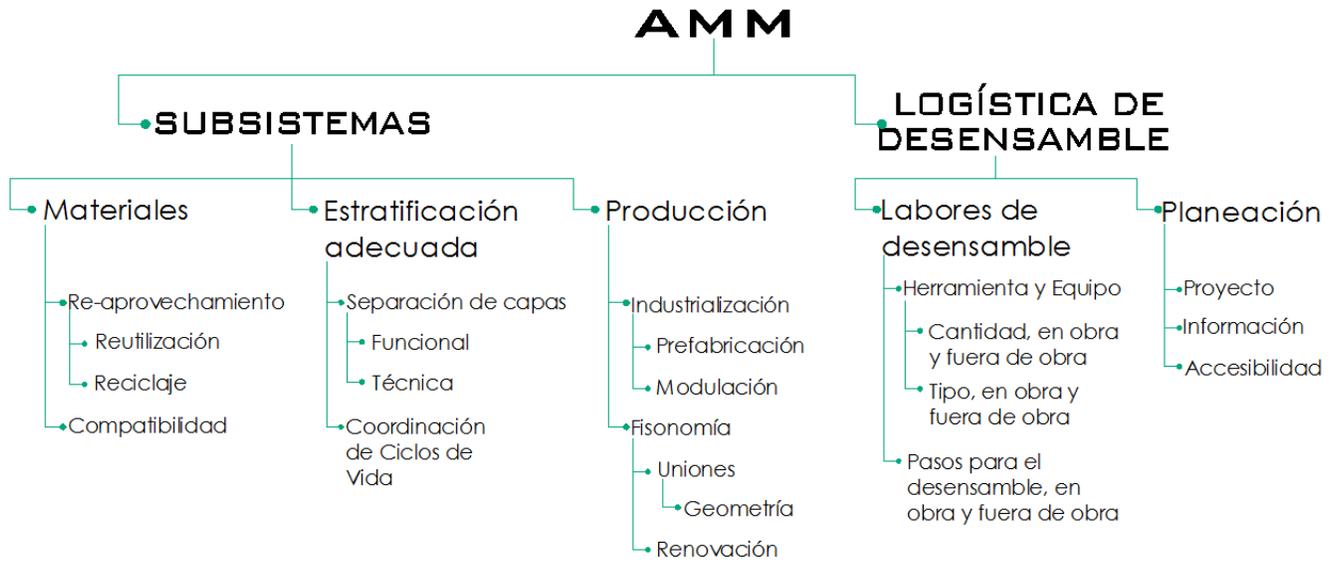


Ilustración 91 Esquema 5 para el aprovechamiento de materiales. Propuesta final.

## ANEXO 12

### Breve reseña de la Dra. Catarina Thormark

Catarina Thormark es doctora en tecnología de la construcción por la universidad de Lund en Suecia, en donde también se ha desempeñado como investigadora. Actualmente ocupa el cargo de profesor asistente en la universidad de Malmö en Suecia, enfocada en las áreas de investigación de la energía y los flujos de recursos en los ciclos de vida de los edificios, así como las cuestiones ambientales de la construcción y el diseño para el desmontaje. Es docente en el área de la "física de la construcción" (*byggnadsfysik*) y la tecnología de la construcción.<sup>194</sup>

Ha publicado diversos artículos entre los que destacan, por su relación con el tema de estudio, los siguientes:

- Environmental analysis of a building with reused building materials<sup>195</sup>

En este estudio, Thormark hace una comparación entre dos construcciones, una empleando materiales nuevos y reutilizando materiales a fin de conocer que tanto se reduce el impacto ambiental entre uno y otro. Llega a la conclusión de que, si bien el impacto ambiental es mucho menor en el caso de la vivienda que emplea material reutilizado, no debe generalizarse este resultado ya que cada material puede presentar diferentes escenarios en los que la disminución en el impacto ambiental debido a la reutilización de los mismo puede ser menor o mayor en función de factores como: la distancia que requiere su transporte o el impacto ambiental que genera su producción entre otros.

- Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings<sup>196</sup>

En este documento, Thormark, expone los beneficios que conlleva la práctica del reciclaje en la industria de la construcción y específicamente en el capítulo: Assessment of the scope for disassembly (punto 7.4) hace un esbozo de lo que podría tomarse en consideración para construir un método que evalúe la facilidad para el desensamblable de construcciones, mismo que ya fue

<sup>194</sup> MALMÖ UNIVERSITY (s.f.) Catarina Thormark, recuperado del sitio web de la universidad de Malmö del staff de investigación el día 28 de noviembre de 2011 de: <http://forskarnav.mah.se/id/kscath>

<sup>195</sup> THORMARK, C., (2000) *Environmental analysis of a building with reused building materials*, Universidad de Lund, Instituto de Tecnología, Suecia.[version digital] Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://muep.mah.se/handle/2043/9844>

<sup>196</sup> THORMARK, C., (2001) *Recycling Potential and Design for Disassembly in buildings*, Universidad de Lund, Instituto de Tecnología, Suecia, P. 389 .[version digital] Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.lunduniversity.lu.se/o.o.i.s?id=24732&postid=41592>

referido en el capítulo V. En función de esto, presenta algunos principios que deben considerarse para llevar a cabo un diseño para el desensamble que también han sido referidos en el capítulo III.

- *Motives for design for disassembly in building construction*<sup>197</sup>  
En este documento, a pesar de que se documentan cifras, estas son muy generales y se hacen únicamente con la finalidad de sustentar la explicación cualitativa de por qué es necesaria la práctica del diseño para el desensamble en la industria de la construcción.
- *Energy and resources, material choice and recycling potential in low energy buildings* <sup>198</sup>  
En este documento expone la idea de que el uso de energía no debe limitarse a la fase de operación de los edificios si no que se debe de tomar en cuenta el ciclo de vida completo. Menciona que si bien es importante buscar la manera de reducir el uso de energía a lo largo del ciclo de vida de uso del edificio, es también importante tomar en cuenta aspectos como la elección de los materiales y su capacidad de reciclaje o reutilización. Estas ideas las estudia posteriormente en la siguiente publicación:
- *Illustrating limitations of energy studies of buildings with LCA and actor analysis*<sup>199</sup>  
Aquí, junto con Brunklau y Baumann, Thormark estudia cuanto mejor es una vivienda pasiva en comparación con una vivienda convencional en términos de desempeño ambiental a través de un Análisis de ciclo de vida. En este estudio se concluye que si bien la vivienda pasiva consume por lo general una menor cantidad de energía comparada con la vivienda convencional el impacto ambiental total a lo largo de su ciclo de vida no es tan obvio entre ambas.

## ANEXO 13

### Breve reseña de la Mtra. Paola Sassi

Paola Sassi posee el título de Diplom-Ingenieur, (Munich, Alemania-1988) una maestría en estudios avanzados sobre la energía y el medio ambiente (1997), así como también un Certificado de Postgrado en Educación Superior y un Doctorado. Desde 1998 a la fecha ha formado parte del despacho de arquitectos "Sassi Chamberlain".

A lo largo de su trayectoria profesional se ha involucrado en proyectos de investigación en relación con el diseño y materiales sustentables. En 2006 publicó el libro: *Strategies for Sustainable Architecture*, que obtuvo el segundo lugar en el premio internacional del libro otorgado por el RIBA (Royal Institute of British Architects).

Está inscrita en el plan de asesoramiento para el diseño, financiado por el Gobierno, como consultor ambiental y ha asesorado en temas relacionados con estrategias de diseño sostenible diversos edificios a la par que realiza el seguimiento del desempeño ambiental y los estudios posteriores de los mismos.<sup>200</sup>

Desde 1998 ha dado conferencias en las universidades de: Kingston, Nottingham y Cardiff y actualmente es docente en la universidad de Oxford Brookes en el área de tecnología y diseño arquitectónico sustentable y líder del programa de la maestría en Construcción sustentable: Desempeño y diseño de esta misma universidad.

Entre sus publicaciones, destacan, por su relación con el tema de investigación:

- *Closed loop material cycle (CLMC) buildings*<sup>201</sup>

<sup>197</sup> THORMARK, C., (2007) *Motives for design for disassembly in building construction*, Conferencia del CIB SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices Lisboa, Portugal. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.irb.fraunhofer.de/CIBlibrary/search-quick-result-list.jsp?A&idSuche=CIB+DC11732>

<sup>198</sup> THORMARK, C., (2007) *Energy and resources, material choice and recycling potential in low energy buildings*, Conferencia del CIB SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices Lisboa, Portugal. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.irbdirekt.de/daten/iconda/CIB11753.pdf>

<sup>199</sup> BRUNKLAUS, THORMARK & HENRIKKE (2010) *Illustrating limitations of energy studies of buildings with LCA and actor analysis*, Building Research & Information, Inglaterra. 38: 3, 265 — 279 [versión electrónica] recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://dx.doi.org/10.1080/09613211003654871>

<sup>200</sup> SASSI-CHAMBERLAIN ARCHITECTS (s.f.) *The partners*. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: <http://www.scaarch.idps.co.uk/pages/partners.htm>

Esta investigación se enfoca en el diseño de edificios a fin de permitir su desmontaje y con ello la reutilización, reciclaje o biodegradación de los elementos del edificio recuperado. Este estudio incluye investigaciones sobre los requisitos técnicos para crear edificios con ciclos de vida cerrados y los beneficios sociales y económicos del uso de dichas tecnologías. La investigación se encuentra publicada en el sitio web: <http://www.sc-arch.co.uk/dfr/index.htm>

- Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled.<sup>202</sup>

A través de este estudio, Sassi expone algunos de los principios que deben considerarse para llevar a cabo un diseño para el desensamble y a través de un método de evaluación define que tan conveniente resulta un determinado sistema constructivo para ser reciclado a nivel primario o secundario o ser reutilizado.

- Designing buildings to close the material resource loop<sup>203</sup>

Este documento es un estudio, a través de cuestionarios y entrevistas, en el que se exponen algunos de los beneficios económicos y sociales que se obtienen al adoptar estrategias de diseño para el reciclaje o la reutilización, mismos que son divididos por la autora de acuerdo a sus respectivas fases: Durante la construcción, durante el uso de la edificación y a en la fase de la eliminación de los desechos. También en función de esta investigación se presentan algunos resultados en relación al potencial de reutilización que tienen diversos componentes de construcción

## ANEXO 14

### Breve reseña de la Dra. Elma Durmisevic

Elma Durmisevic tiene el grado de PhD por la universidad técnica de Delft, Holanda, de donde es investigadora asociada. Es miembro del Royal Institute of Dutch Architects, miembro del International Council for research and innovation in building and construction - Target group 104 'Open Building' and Target group 39 'Deconstruction' y de otros comités relacionados con el diseño y construcción (SBR, BNA). Desde 1999 hasta la fecha está a la cabeza de la firma de arquitectos 4D Architects en Amsterdam.<sup>204</sup>

Si bien, cuenta, al igual que Thormark y Sassi, con una larga lista de publicaciones y conferencias (que pueden ser consultadas en el sitio web de 4D Architects), en su tesis doctoral titulada: *Transformable building structures: design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, reúne y profundiza gran parte de los temas que expone de manera separada en dichas publicaciones entre las que se encuentran solo por citar algunos títulos:

- Knowledge model for assessing disassembly potential of structures (2003)
- Life cycle coordination of materials and their Functions at connections design for total service life Of buildings and its materials (2003)
- Re-use potential of steel in building construction (2003)
- Dynamic versus static building structures (2002)

Es importante señalar que algunas de estas publicaciones tienen como autor a otros investigadores además de Durmisevic.

<sup>201</sup> OXFORD BROOKES UNIVERSITY (s.f.) Dr. Paola Sassi, Extraído el 28 de noviembre de 2011 de: <http://architecture.brookes.ac.uk/staff/paolasassi.html>

<sup>202</sup> SASSI, P . (2001), *Study of current building methods that enable the dismantling of building structures and their classifications according to their ability to be reused, recycled or downcycled*. U.K.: University of Nottingham, School of the Built Environment.

<sup>203</sup> SASSI, P . (2004), *Designing buildings to close the material resource loop*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability 157 Issue ES3, September 2004 (ISSN 1478 4637).Recuperado el 28 de noviembre del 2011 de: <http://arch8565.wordpress.com/?s=sassi>

<sup>204</sup> 4DARCHITECTS(s.f.)Elma Durmisevic. Recuperado el 28 de noviembre de 2011 de: [http://www.4darchitects.nl/4d\\_profile.htm](http://www.4darchitects.nl/4d_profile.htm)

**ANEXO 15**

**Matrices de reglas de evaluación**

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:				NOMENCLATURA			
<b>REUTILIZACIÓN</b>				<b>reu</b>			
REUTILIZACIÓN		Rangos		<b>re u r</b>	Rango de 10 a 1		Ponderación
		Variables	Rangos permisibles	"botones"	Variables *	"slider"	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	<b>re u 1</b>	reu1r	reu a1	1000
CVT > CVU	Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos mayores que sus propios ciclos de vida de uso.	<i>reu1r</i>	$0 <= reu1r <= 1$	<b>re u 2</b>	reu2	reu a2	0.500
CVT = CVU	Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos similares a sus propios ciclos de vida de uso.	<i>reu2</i>	$0 <= reu2 <= (1-reu1r)$	<b>re u 3</b>	reu3		0.010
CVT < CVU	Porcentaje del sistema con materiales con Ciclos de vida técnicos menores que sus propios ciclos de vida de uso.	<i>reu3</i>	$reu3 = (1-(reu2+reu1r))$				

Valor de REUTILIZACIÓN (reu) = [(reu1r\*1)+(reu2\*0.5)+(reu3\*0.01)] \* (valor de TIF : RyR MAT \*\*)

\*\* El Valor de TIF: R y R. MAT. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:				NOMENCLATURA			
<b>CAPACIDAD DE RECICLAJE</b>				<b>rec</b>			
CAPACIDAD DE RECICLAJE		Rangos		<b>re c r</b>	Rango de 10 a 1		Ponderación
		Variables	Rangos permisibles	"botones"	Variables *	"slider"	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	<b>re c 1</b>	rec1r	rec a1	1000
PRIMARIO	Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel primario	<i>rec1r</i>	$0 <= rec1r <= 1$	<b>re c 2</b>	rec2r	rec a2	0.750
SECUNDARIO	Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel secundario	<i>rec2r</i>	$0 <= rec2r <= (1-rec1r)$	<b>re c 3</b>	rec3r	rec a3	0.500
TERCIARIO	Porcentaje del sistema con materiales que pueden ser reciclados a nivel terciario	<i>rec3r</i>	$1 <= rec3r <= (1-(rec2r+rec1r))$	<b>re c 4</b>	rec4r		0.010
NULO	Porcentaje del sistema con materiales que no pueden ser reciclados	<i>rec4r</i>	$rec4r = (1-(rec3r+rec2r+rec1r))$				

Valor de CAPACIDAD DE RECICLAJE (recr) = [(rec1r\*1)+(rec2r\*0.75)+(rec3r\*0.5)+(rec4r\*0.01)] \* (valor de TIF : R.y R. MAT \*\*)

\*\* El Valor de TIF: R.y R. MAT. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:				NOMENCLATURA			
<b>COMPATIBILIDAD</b>				<b>com</b>			
COMPATIBILIDAD		Rangos		<b>co m r</b>	Rango de 10 a 1		Ponderación
		Variables	Rangos permisibles	"botones"	Variables *	"slider"	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	<b>co m 1</b>	com1r	com a1	1000
SINERGI A	Porcentaje del sistema con materiales adjuntos que entre sí hacen sinergia, acrecentando el CVT del subsistema	<i>com1r</i>	$0 <= com1r <= 1$	<b>co m 2</b>	com2r	com a2	0.750
NEUTRO	Porcentaje del sistema con materiales adjuntos que no provocan ningún efecto en el CVT del subsistema	<i>com2r</i>	$0 <= com2r <= (1-com1r)$	<b>co m 3</b>	com3r	com a3	0.500
				<b>co m 4</b>	com4r		0.010

DET. GRADUAL	Porcentaje del sistema con materiales adjuntos que provocan un deterioro gradual pero moderado en el CVT de al menos una parte del subsistema	$com3r$	$1 \leq com3r \leq (1 - (com2r + com1r))$
DET. INTENSO	Porcentaje del sistema con materiales adjuntos que provocan un deterioro gradual intenso en el CVT de al menos una parte del subsistema	$com4r$	$com4r = (1 - (com3r + com2r + com1r))$

Valor de COMPATIBILIDAD ( $comr$ ) =  $[(com1r * 1) + (com2r * 0.75) + (com3r * 0.5) + (com4r * 0.01)] * (\text{valor de TIF : COM. MAT} **)$

\*\* El Valor de TIF: COM. MAT. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:				NOMENCLATURA			
SEPARACIÓN DE CAPAS FUNCIONALES				fun			
SEPARACIÓN DE CAPAS FUNCIONALES		Rangos		funr	Rango del 0 al		Ponderación
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	"botones"	Variables *	"s lider"	
UNA CAPA	Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de una sola capa funcional	$fun1r$	$0 \leq fun1r \leq 1$	fun1	fun1r	fun1	1.000
DOS CAPAS	Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de dos capas funcional	$fun2r$	$0 \leq fun2r \leq (1 - fun1r)$	fun2	fun2r	fun2	0.750
TRES CAPAS	Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de tres capas funcional	$fun3r$	$1 \leq fun3r \leq (1 - (fun2r + fun1r))$	fun3	fun3r	fun3	0.500
CUATRO O MÁS	Porcentaje del sistema con componentes que formen parte de cuatro o más capas funcional	$fun4r$	$fun4r = (1 - (fun3r + fun2r + fun1r))$	fun4	fun4r		0.010

Valor de SEPARACIÓN DE CAPAS FUNCIONALES ( $funr$ ) =  $[(fun1r * 1) + (fun2r * 0.75) + (fun3r * 0.5) + (fun4r * 0.01)]$

PONDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE:				
SEPARACIÓN TÉCNICA				
SEPARACIÓN DE NIVELES DE DESCOMPOSICIÓN TÉCNICA		Total	Parcial	Null
BOTONES	DESCRIPCIÓN	1.0	0.5	0.01
MATERIALES	Porcentaje del sistema que es posible separar por tipos de materiales distintos	0.4	0.2	0.0035
C.V.T.	Porcentaje del sistema que es posible separar por c.v.t. distintos	0.3	0.15	0.0035
C.V.U.	Porcentaje del sistema que es posible separar por c.v.u. distintos	0.3	0.15	0.0030

● Valores de referencia

Matriz 3x3

NOMENCLATURA			
tec			
tecr	"Radio"		
"botones"	"buttons/Checkboxes"		
tec1	teca1	tecb1	tecc1
tec2	teca2	tecb2	tecc2
tec3	teca3	tecb3	tecc3
	tecat	tecbt	tecc1

valor de SEPARACIÓN TÉCNICA ( $tecr$ ) =  $[(teca1 * 0.4) + (tecb1 * 0.2) + (tecc1 * 0.0035)] + [(teca2 * 0.3) + (tecb2 * 0.15) + (tecc2 * 0.0035)] + [(teca3 * 0.3) + (tecb3 * 0.15) + (tecc3 * 0.003)] * \{[(\text{valor de TIF : C.V.U.} **) + (\text{valor de TIF : C.V.T.} ***)] / 2\}$

\*\* El Valor de TIF: C.V.U. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

\*\*\* El Valor de TIF: C.V.T. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:			
COORDINACIÓN DE CICLOS DE VIDA			
COORDINACIÓN DE CICLOS DE VIDA		Rangos	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles
LIBRE	Porcentaje del sistema con partes con CVT o CVU cortos que no requieren para su desensamble el de partes con CVT o CVU largos.	<i>ccv1r</i>	$0 \leq ccv1r \leq 1$
DEPENDIENTE	Porcentaje del sistema con partes con CVT o CVU cortos que requieren para su desensamble el de partes con CVT o CVU largos.	<i>ccv2</i>	$ccv2 \leq (1 - ccv1r)$

NOMENCLATURA			
ccv			
ccvr	Rango del 0 a 1		Ponderación
"botones"	Variables *	"slider"	
ccv1	ccv1r	ccv1	1.000
ccv2	ccv2		0.010

Valor de COORDINACIÓN DE CICLOS DE VIDA (ccvr) =  $[(ccv1r * 1) + (ccv2 * 0.01)] * [(valor\ de\ TIF : C.V.U. **) * (valor\ de\ TIF : C.V.T. ***)]$

\*\* El Valor de TIF: C.V.U. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

\*\*\* El Valor de TIF: C.V.T. Se obtendrá en la matriz de tipo de conocimiento

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:			
PREFABRICACIÓN			
PREFABRICACIÓN		Rangos	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles
PREFAB. IND. S/AJUSTES	Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial y no requieren de ajustes para su ensamble o colocación en sitio	<i>ind1r</i>	$0 \leq ind1r \leq 1$
PREFAB. IND. C/AJUSTES	Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido fabricadas de manera industrial pero que para su ensamble requieren o colocación en sitio requieren de ajustes.	<i>ind2r</i>	$0 \leq ind2r \leq (1 - ind1r)$
PREFAB. IN SITU	Porcentaje del sistema que consta de partes que han sido prefabricadas en obra.	<i>ind3r</i>	$1 \leq ind3r \leq (1 - (ind2r + ind1r))$
FAB. EN OBRA	El sistema consta de materiales que han sido fabricados en obra.	<i>ind4r</i>	$ind4r = (1 - (ind3r + ind2r + ind1r))$

NOMENCLATURA			
ind			
accr	Rango del 0 a 1		Ponderación
"botones"	Variables *	"slider"	
ind1	ind1r	inda1	1.000
ind2	ind2r	inda2	0.750
ind3	ind3r	inda3	0.500
ind4	ind4r		0.010

Valor de PREFABRICACIÓN (accr) =  $(ind1r * 1) + (ind2r * 0.75) + (ind3r * 0.5) + (ind4r * 0.01)$

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:			
MODULACIÓN			
MODULACIÓN		Rangos	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles
MATERIAL	Porcentaje del sistema que consta de partes moduladas de acuerdo a la naturaleza de los materiales que emplean	<i>mod1r</i>	$0 \leq mod1r \leq 1$
ARQUITECTÓNICA	Porcentaje del sistema que consta de partes moduladas de acuerdo al dimensionamiento de los espacios arquitectónicos.	<i>mod2r</i>	$0 \leq mod2r \leq 1$

NOMENCLATURA			
mod			
modr	Rango del 0 a 1		Ponderación
"botones"	Variables *	"slider"	
mod1	mod1r	moda1	0.75
mod2	mod2r	moda2	0.25

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES

$$\text{Valor de MODULACIÓN (modr)} = (\text{mod1r} \cdot 0.75) + (\text{mod2r} \cdot 0.25)$$

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:				NOMENCLATURA			
<b>GEOMETRÍA DE UNIONES</b>				<b>geo</b>			
GEOMETRÍA DE UNIONES		Rangos		geor	Rango de la a l		Ponderación
		Variables	Rangos permisibles	"botones"	Variables *	"slider"	
BOTONES	DESCRIPCIÓN			<b>geo 1</b>	geo 1r	geo a1	1.000
PLANA	Porcentaje uniones en el sistema que son planas. (si no existen uniones márkese esta variable como 100%)	<i>geo 1r</i>	$0 \leq \text{geo 1r} \leq 1$	<b>geo 2</b>	geo 2r	geo a2	0.800
				<b>geo 3</b>	geo 3r	geo a3	0.600
SOLAPA	Porcentaje uniones en el sistema que son del tipo solapa	<i>geo 2r</i>	$0 \leq \text{geo 2r} \leq (1 - \text{geo 1r})$	<b>geo 4</b>	geo 4r	geo a4	0.400
				<b>geo 5</b>	geo 5r	geo a5	0.010
SOLAPA SIM	Porcentaje uniones en el sistema que son del tipo solapa simétrica	<i>geo 3r</i>	$1 \leq \text{geo 3r} \leq (1 - (\text{geo 2r} + \text{geo 1r}))$				
MACHIMBRADA	Porcentaje uniones en el sistema machimbradas	<i>geo 4r</i>	$1 \leq \text{geo 4r} \leq (1 - (\text{geo 3r} + \text{geo 2r} + \text{geo 1r}))$				
CAJA Y ESPIGA	Porcentaje uniones en el sistema del tipo caja y espiga	<i>geo 5r</i>	$\text{geo 5r} = (1 - (\text{geo 4r} + \text{geo 3r} + \text{geo 2r} + \text{geo 1r}))$				

$$\text{Valor de GEOMETRÍA DE UNIONES (geor)} = (\text{geo1r} \cdot 1) + (\text{geo2r} \cdot 0.8) + (\text{geo3r} \cdot 0.6) + (\text{geo4r} \cdot 0.4) + (\text{geo5r} \cdot 0.01)$$

PONDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE:				
<b>RENOVACIÓN</b>				
RENOVACIÓN		> a 150 %	25 a 150 %	< a 25 %
BOTONES	DESCRIPCIÓN	0.01	0.50	1.00
MATERIAL	Aplica para materiales que su reutilización dependa de su renovación y evalúa que tanto se debe invertir para su renovación en materiales, en relación con el costo total del componente nuevo.	0.005	0.25	0.5
MANO DE OBRA	Aplica para materiales que su reutilización dependa de su renovación y evalúa que tanto se debe invertir para su renovación en mano de obra, en relación con el costo total del componente nuevo.	0.005	0.25	0.5

NOMENCLATURA			
<b>ren</b>			
renr	"Radio"		
"botones"	"Buttons/Checkboxes"		
ren 1	rena 1	renb 1	renc 1
ren 2	rena 2	renb 2	renc 2
	renat	renbt	renc t

$$\text{valor de RENOVACIÓN (renr)} = [(\text{rena1} \cdot 0.005) + (\text{renb1} \cdot 0.25) + (\text{renc1} \cdot 0.5)] + [(\text{rena2} \cdot 0.005) + (\text{renb2} \cdot 0.25) + (\text{renc2} \cdot 0.5)]$$

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
CANTIDAD Y TIPO DE HERRAMIENTA (en obra y fuera de obra)					
CANTIDAD Y TIPO DE HERRAMIENTA (en obra y fuera de obra)			Rangos en Obra		Rangos fuera de Obra
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	Variables	Rangos permisibles
% DES MANUAL	Porcentaje del sistema pueda ser desensamblado manualmente	<i>cthar1</i>	$0 <= cthar1 <= 1$	<i>cthdr1</i>	$1 <= cthdr1 <= (1 - (cthar5 + cthar4 + cthar1))$
BÁSICAS	Porcentaje del sistema pueda ser desensamblado con herramienta básica	<i>cthar4</i>	$0 <= cthar4 <= (1 - cthar1)$	<i>cthd4</i>	$1 <= cthd4 <= (1 - (cthar1 + cthar4 + cthar5 + cthdr1))$
ESPECIALES	Porcentaje del sistema que requiera de herramienta especial para su desensamble	<i>cthar5</i>	$1 <= cthar5 <= (1 - (cthar4 + cthar1))$	<i>cthd5</i>	$cthd5 <= (1 - (cthar1 + cthar4 + cthar5 + cthdr1 + cthd4))$
CANT. DE HERRAMIENTA	Cantidad de herramienta requerida para el desensamble del sistema	<i>cthar3</i>	$si\ cthar1=1: \ cthar3=1$	<i>cthd3</i>	$si\ cthar1+cthdr1=1: \ cthd3=1$
			$si\ 0.75 < cthar1 < 1: \ 0.2 < cthar3 < 1$		$si\ 0.75 < cthar1+cthdr1 < 1: \ 0.25 < cthd3 < 0.1$
			$si\ cthar1 < 0.75: \ 0 < cthar3 < 1$		$si\ cthar1+cthdr1 < 0.75: \ 0 < cthd3 < 1$

NOMENCLATURA						
cth						
cthr	Rango de 10 a 1		Ponderación	Rango de 10 a 1		Ponderación
	Variables *	"s líder"		valores *	"s líder"	
<b>cth1</b>	cthar1	ctha1	1.000	cthdr1	cthd1	0.900
<b>cth4</b>	cthar4	ctha4	0.500	cthd4	cthd4	0.750
<b>cth5</b>	cthar5	ctha5	0.150	cthd5		0.250
<b>cth3</b>	cthar3	ctha3	0.600	cthd3	cthd3	0.400

Valor de CANTIDAD Y TIPO DE HERRAMIENTA (en obra y fuera de obra) (cthr) =  $[(cthar1*1)+(cthar4*0.5)+(cthar5*0.15)+(cthdr1*0.9)+(cthd4*0.75)+(cthd5*0.25)] * \{[(1 - cthar3)*0.6]+[(1 - cthd3)*0.4]\}$

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
CANTIDAD Y TIPO DE EQUIPO (en obra y fuera de obra)					
CANTIDAD Y TIPO DE EQUIPO (en obra y fuera de obra)			Rangos en Obra		Rangos fuera de Obra
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	Variables	Rangos permisibles
% DES MANUAL	Porcentaje del sistema pueda ser desensamblado manualmente	<i>ctear1</i>	$ctear1 = cthar1 + cthdr1$		
BÁSICAS	Porcentaje del sistema pueda ser desensamblado con equipo básico	<i>ctear4</i>	$0 <= ctear4 <= (1 - ctear1)$	<i>cted4</i>	$1 <= cted4 <= (1 - (ctear1 + ctear4 + ctear5))$
ESPECIALES	Porcentaje del sistema que requiera de equipo especial para su desensamble	<i>ctear5</i>	$1 <= ctear5 <= (1 - (ctear4 + ctear1))$	<i>cted5</i>	$cted5 <= (1 - (ctear1 + ctear4 + ctear5 + cted4))$
CANT. DE EQUIPO	Cantidad de equipo requerido para el desensamble del sistema	<i>ctear3</i>	$si\ ctear1=1: \ ctear3=1$	<i>cted3</i>	$si\ ctear1+=1: \ cted3=1$
			$si\ 0.75 < ctear1 < 1: \ 0.2 < ctear3 < 1$		$si\ 0.75 < ctear1 < 1: \ 0.25 < cted3 < 0.1$
			$si\ ctear1 < 0.75: \ 0 < ctear3 < 1$		$si\ ctear1 < 0.75: \ 0 < cted3 < 1$

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES

NOMENCLATURA						
cte						
cte r	Rango del 0 al		Ponderación	Rango del 0 al		Ponderación
	Variables *	"slider"		valores *	"slider"	
"botones"	cte ar1		1.000			0.900
cte 1	cte ar1		1.000			0.900
cte 4	cte ar4	cte a4	0.500	cte d4	cte d4	0.750
cte 5	cte ar5	cte a5	0.150	cte d5		0.250
cte 3	cte ar3	cte a3	0.600	cte d3	cte d3	0.400

Valor de CANTIDAD Y TIPO DE EQUIPO (en obra y fuera de obra) (cter) =  
 $[(cte ar1 * 1) + (cte ar4 * 0.5) + (cte ar5 * 0.15) + (cte d4 * 0.75) + (cte d5 * 0.25) +] * [(1 - cte ar3) 0.6] + [(1 - cte d3) * 0.4]$

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
PASOS PARA EL DESENSAMBLE (en obra y fuera de obra)					
PASOS PARA EL DESENSAMBLE (en obra y fuera de obra)			Rangos en Obra		Rangos fuera de Obra
BOTONES	DESCRIPCIÓN	Variables	Rangos permisibles	Variables	Rangos permisibles
DES < DEM	Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una cantidad moderada de pasos que en suma no supere el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombro	psoar1	$0 <= ps o ar1 <= 1$	psodr1	$1 <= ps o dr1 <= (1 - (ps o ar3 + ps o ar2 + ps o ar1))$
DES ~ DEM	Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una cantidad moderada de pasos que en suma requiera un tiempo similar al requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombro	psoar2	$0 <= ps o ar2 <= (1 - ps o ar1)$	psod2	$1 <= ps o d2 <= (1 - (ps o ar1 + ps o ar2 + ps o ar3 + ps o dr1))$
DES > DEM	Porcentaje del sistema que requiera para su desensamble una gran cantidad de pasos que en suma superan notablemente el tiempo requerido para llevar a cabo las labores de demolición y retiro de escombro	psoar3	$1 <= ps o ar3 <= (1 - (ps o ar2 + ps o ar1))$	psod3	$ps o d3 <= (1 - (ps o ar1 + ps o ar2 + ps o ar3 + ps o dr1 + ps o d2))$

NOMENCLATURA						
ps o						
ps o r	Rango del 0 al		Ponderación	Rango del 0 al		Ponderación
	Variables *	"slider"		valores *	"slider"	
ps o 1	ps o ar1	ps o a1	1.000	ps o dr1	ps o d1	1.000
ps o 2	ps o ar2	ps o a2	0.500	ps o d2	ps o d2	0.500
ps o 3	ps o ar3	ps o a3	0.010	ps o d3		0.010

Valor de PASOS PARA EL DESENSAMBLE (en obra y fuera de obra) (psor) =  
 $[(ps o ar1 * 1) + (ps o ar2 * 0.5) + (ps o ar3 * 0.01) + (ps o dr1 * 1) + (ps o d2 * 0.5) + (ps o d3 * 0.01) +]$

PONDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
PROYECTO					
PROYECTO		Total	Parcial	Multo	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	10	0.5	0.01	← Valores de referencia  Matriz 5x3
PLANOS	Planos para la des construcción y mantenimiento	0.3	0.15	0.002	
ESTRUCTURA	Esquemas con las propiedades estructurales	0.2	0.1	0.002	
DETALLES	Detalles de las conexiones	0.2	0.1	0.002	
ESTRATEGIA	Estrategia para la des construcción.	0.2	0.1	0.002	
LOGÍSTICA	Planeación de sitios de descarga de materiales o retiro de los mismos	0.1	0.05	0.002	

NOMENCLATURA			
pla			
plar	"Radio buttons/Checkboxes"		
"botones"			
pla1	plaa1	plab1	plac1
pla2	plaa2	plab2	plac2
pla3	plaa3	plab3	plac3
pla4	plaa4	plab4	plac4
pla5	plaa5	plab5	plac5
	plaat	plabt	plact

$$\text{valor de PROYECTO (plar)} = [ (\text{plaa1} \cdot 0.3) \text{o} (\text{plab1} \cdot 0.15) \text{o} (\text{plac1} \cdot 0.002) ] + [ (\text{plaa2} \cdot 0.2) \text{o} (\text{plab2} \cdot 0.1) \text{o} (\text{plac2} \cdot 0.002) ] + [ (\text{plaa3} \cdot 0.2) \text{o} (\text{plab3} \cdot 0.1) \text{o} (\text{plac3} \cdot 0.002) ] + [ (\text{plaa4} \cdot 0.2) \text{o} (\text{plab4} \cdot 0.1) \text{o} (\text{plac4} \cdot 0.002) ] + [ (\text{plaa5} \cdot 0.1) \text{o} (\text{plab5} \cdot 0.05) \text{o} (\text{plac5} \cdot 0.002) ]$$

PONDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
INFORMACIÓN					
INFORMACIÓN		Total	Parcial	Multo	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	10	0.5	0.01	← Valores de referencia  Matriz 5x3
VIDA DE USO	vida de uso esperada	0.3	0.15	0.002	
ORIGEN	Sitio, año y compañía de producción	0.2	0.1	0.002	
MANIPULACIÓN	Recomendaciones para su manipulación	0.2	0.1	0.002	
RECUPERACIÓN	Estrategia para la recuperación	0.2	0.1	0.002	
VIDA FUTURA	Planeación de uso futuro de las partes	0.1	0.05	0.002	

NOMENCLATURA			
infr			
infr	"Radio buttons/Checkboxes"		
"botones"			
infr1	infa1	infb1	infc1
infr2	infa2	infb2	infc2
infr3	infa3	infb3	infc3
infr4	infa4	infb4	infc4
infr5	infa5	infb5	infc5
	infat	infbt	infct

$$\text{valor de INFORMACIÓN (infr)} = [ (\text{infa1} \cdot 0.3) \text{o} (\text{infb1} \cdot 0.15) \text{o} (\text{infc1} \cdot 0.002) ] + [ (\text{infa2} \cdot 0.2) \text{o} (\text{infb2} \cdot 0.1) \text{o} (\text{infc2} \cdot 0.002) ] + [ (\text{infa3} \cdot 0.2) \text{o} (\text{infb3} \cdot 0.1) \text{o} (\text{infc3} \cdot 0.002) ] + [ (\text{infa4} \cdot 0.2) \text{o} (\text{infb4} \cdot 0.1) \text{o} (\text{infc4} \cdot 0.002) ] + [ (\text{infa5} \cdot 0.1) \text{o} (\text{infb5} \cdot 0.05) \text{o} (\text{infc5} \cdot 0.002) ]$$

PONDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE:					
ACCESIBILIDAD					
ACCESIBILIDAD		Total	Parcial	Multo	
BOTONES	DESCRIPCIÓN	10	0.5	0.01	← Valores de referencia  Matriz 3x3
CLARIDAD	Que tan claros y obvios son los puntos de acceso a las uniones.	0.3	0.15	0.0035	
SEGURIDAD	Cuanto equipo de seguridad se requiere para llevar a cabo las labores	0.3	0.15	0.0035	
HOLGURA	Que tan faciles acceder a los puntos de desensamble	0.4	0.2	0.0030	

NOMENCLATURA			
acc			
accr	"Radio buttons/Checkboxes"		
"botones"			
acc1	accal	accbl	acccl
acc2	accal	accb2	acccl
acc3	accal	accb3	acccl
	accat	accbt	accct

$$\text{valor de ACCESIBILIDAD (accr)} = [ (\text{accal} \cdot 0.3) \text{o} (\text{accbl} \cdot 0.15) \text{o} (\text{acccl} \cdot 0.0035) ] + [ (\text{accal} \cdot 0.3) \text{o} (\text{accb2} \cdot 0.15) \text{o} (\text{acccl} \cdot 0.0035) ] + [ (\text{accal} \cdot 0.4) \text{o} (\text{accb3} \cdot 0.2) \text{o} (\text{acccl} \cdot 0.003) ]$$

Se incluyó una última matriz que evalúa el tipo de información que ingresa al modelo:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PRINCIPIOS PARA EL APROVECHAMIENTO MAXIMIZADO DE MATERIALES**

RANGOS PERMISIBLES PARA LA EVALUACIÓN DE:

<b>TIPO DE CONOCIMIENTO</b>									
<b>TIPO DE CONOCIMIENTO</b>		<i>C.V.U.</i>		<i>C.V.T.</i>		<i>COM.MAT.</i>		<i>RyR MAT</i>	
<b>BOTONES</b>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Variables</i>	<i>Rangos permisibles</i>	<i>Variables</i>	<i>Rangos permisibles</i>	<i>Variables</i>	<i>Rangos permisibles</i>	<i>Variables</i>	<i>Rangos permisibles</i>
C.D.	Científico documentado	<i>tifar1</i>	$0 \leq tifar1 \leq 1$	<i>tifbr1</i>	$0 \leq tifbr1 \leq 1$	<i>tifcr</i>	$0 \leq tifcr \leq 1$	<i>tifdr</i>	$0 \leq tifdr \leq 1$
E.D.	Empírico documentado	<i>tifar2</i>	$0 \leq tifar2 \leq (1-tifar1)$	<i>tifbr2</i>	$0 \leq tifbr2 \leq (1-tifbr1)$	<i>tifcr</i>	$0 \leq tifcr \leq (1-tifcr)$	<i>tifdr</i>	$0 \leq tifdr \leq (1-tifdr)$
V.P.	Vox populli	<i>tifar3</i>	$1 \leq tifar3 \leq (1-(tifar2+tifar1))$	<i>tifbr3</i>	$1 \leq tifbr3 \leq (1-(tifbr2+tifbr1))$	<i>tifcr</i>	$1 \leq tifcr \leq (1-(tifcr+tifcr))$	<i>tifdr</i>	$1 \leq tifdr \leq (1-(tifdr+tifdr))$
NULO	Nulo	<i>tifar4</i>	$1 \leq tifar4 \leq (1-(tifar3+tifar2+tifar1))$	<i>tifbr4</i>	$1 \leq tifbr4 \leq (1-(tifbr3+tifbr2+tifbr1))$	<i>tifcr</i>	$1 \leq tifcr \leq (1-(tifcr+tifcr+tifcr))$	<i>tifdr</i>	$1 \leq tifdr \leq (1-(tifdr+tifdr+tifdr))$

NOMENCLATURA

<b>tif</b>									
<b>TIF</b>	<i>ccvr</i>	<i>C.V.U.</i>	<i>cctr</i>	<i>C.V.T.</i>	<i>matr</i>	<i>COM.MAT.</i>	<i>ryrr</i>	<i>RyR MAT</i>	<i>Ponderación</i>
<i>"botones"</i>	<i>valores *</i>	<i>"s lider"</i>							
<b>tif1</b>	<i>tifar1</i>	<i>tifa1</i>	<i>tifbr1</i>	<i>tifb1</i>	<i>tifcr</i>	<i>tifc1</i>	<i>tifdr</i>	<i>tifd1</i>	1.000
<b>tif2</b>	<i>tifar2</i>	<i>tifa2</i>	<i>tifbr2</i>	<i>tifb2</i>	<i>tifcr</i>	<i>tifc2</i>	<i>tifdr</i>	<i>tifd2</i>	0.750
<b>tif3</b>	<i>tifar3</i>	<i>tifa3</i>	<i>tifbr3</i>	<i>tifb3</i>	<i>tifcr</i>	<i>tifc3</i>	<i>tifdr</i>	<i>tifd3</i>	0.500
<b>tif4</b>	<i>tifar4</i>		<i>tifbr4</i>		<i>tifcr</i>		<i>tifdr</i>		0.010

Valor de TIF:C.V.U.(ccvr) = (tifar1\*1)+(tifar2\*0.75)+(tifar3\*0.5)+(tifar4\*0.01)

Valor de TIF:C.V.T.(cctr) = (tifbr1\*1)+(tifbr2\*0.75)+(tifbr3\*0.5)+(tifbr4\*0.01)

Valor de TIF:COM.MAT.(matr) = (tifcr\*1)+(tifcr\*0.75)+(tifcr\*0.5)+(tifcr\*0.01)

Valor de tif1:RyR MAT(ryrr) = (tifdr\*1)+(tifdr\*0.75)+(tifdr\*0.5)+(tifdr\*0.01)

Para llegar al coeficiente final se realiza antes una suma ponderada de los valores de cada principio de acuerdo con la matriz de evaluación final:

MATRIZ DE EVALUACIÓN FINAL

LOGÍSTICA DE DESENSIBLE	SUBSISTEMAS	escenarios																			
		lec=1		lec=85 o 703 o 7035 o 8 o 5035		lec=6035 > lec > 4065		lec=157 o 307 o 4065 o 2065 o 1565 o 3065		lec=01		lec=1		lec=85 o 703 o 7035 o 8 o 5035		lec=6035 > lec > 4065		lec=157 o 307 o 4065 o 2065 o 1565 o 3065		lec=01	
		max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75	max	ind > .75
	max	alta	media	baja	nula	max	alta	media	baja	nula	baja	alta	media	baja	nula	baja	alta	media	baja	nula	
ind	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	
mod	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0600	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
geo	0.1000	0.0750	0.0500	0.0300	n/a	0.1000	0.0750	0.0500	0.0300	n/a	0.1000	0.0750	0.0500	0.0300	n/a	0.1100	0.0750	0.0500	0.0300	n/a	
ren	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	
com	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	
reu	0.1000	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1100	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1250	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1100	0.1225	0.1350	0.1450	0.1600	
rec	0.1000	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1100	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1250	0.1125	0.1250	0.1350	0.1500	0.1100	0.1225	0.1350	0.1450	0.1600	
fun	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	
tec	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	
ccv	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	
pla	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	
inf	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	0.1500	0.1600	0.1900	0.2200	0.2300	
acc	0.2500	0.2600	0.2600	0.2600	0.3100	0.2500	0.2600	0.2600	0.2600	0.3100	0.2500	0.2600	0.2600	0.2600	0.3100	0.2500	0.2600	0.2600	0.2600	0.3100	
cth	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	
cte	0.1500	0.1700	0.2000	0.2200	0.2300	0.1500	0.1700	0.2000	0.2200	0.2300	0.1500	0.1700	0.2000	0.2200	0.2300	0.1500	0.1700	0.2000	0.2200	0.2300	
pso	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	0.1500	0.1250	0.0800	0.0400	n/a	

## ANEXO 16

### **Lógica Difusa**

A continuación se explica el funcionamiento de la lógica difusa de manera teórica y posteriormente con algunos ejemplos que se encuentran en la parte final de este anexo.

#### **INTRODUCCIÓN**

En 1965 con los trabajos del profesor Lotfi Zadeh “fuzzy sets” se abrieron espacios a un nuevo mundo formal, que matemáticos, físicos, ingenieros, y economistas han conseguido traspasar creando métodos, técnicas, modelos y algoritmos cuya conexión con la vida real no ha hecho más que estrecharse, permitiendo así explicar fenómenos, otrora relegados a los rincones de las anomalías.

En la década de los 70’s el profesor Alnoird Kaufmann recoge los elementos básicos fundamentales derivados de la lógica fuzzy.

Aunque muchas lógicas modernas son bivalentes, como la clásica, en el siglo XX se han empezado a desarrollar lógicas que admiten más de dos valores de verdad. A partir de 1909 el matemático ruso Vasilev publicó una serie de artículos en los que desarrolló una lógica trivalente (que él llamó lógica no aristotélica) eliminando la ley del tercio excluido.<sup>205</sup> La lógica fuzzy, borrosa o difusa, representa un acercamiento fundamental a la lógica del conocimiento y del razonamiento humano, que siempre resulta ineludiblemente impreciso o aproximado. La lógica clásica se ocupa de razonamientos que tienen formulaciones muy precisas, en la lógica difusa, en cambio, el razonamiento preciso es sólo un caso límite del razonamiento aproximado. De ahí que pueda invertirse la suposición clásica. La vaguedad ya no es el límite de la precisión, sino al contrario, ésta es el límite de aquélla.

El hombre en la búsqueda de la precisión, ha intentado ajustar el mundo real a modelos matemáticos rígidos y estáticos, sin embargo, evidentemente, como seres humano manipulamos mejor y de una manera más fácil información imprecisa, al contrario de lo que ocurre con las máquinas, que son excelentes trabajando con reglas deterministas e información cien por ciento precisa. Lo que se busca a través de la matemática difusa es describir y formalizar la realidad empleando modelos flexibles que interpreten las leyes que rigen el comportamiento humano y las relaciones entre los hombres, en otras palabras, hacer que las computadoras sirvan a través de información imprecisa, tal como lo hacemos los seres humanos.

Lazarri, citado en Alsina y Terricabras menciona que “el fenómeno de la vaguedad invade el razonamiento ordinario basado en conocimientos comunes. Porque el discurso ordinario está lleno de predicados que no clasifican perfectamente el correspondiente universo de objetos en cuestión; de predicados con tales matices de significado que a menudo se entrecruza lo afirmado con lo negado para abrir nuevos espacios al debate y a la discusión enriquecedora; de predicados vagos no siempre precisables que pierden matices e informatividad cuando se intenta ceñirlos arbitrariamente”<sup>206</sup>

#### **Utilización y aplicación de los conjuntos borrosos**

La lógica difusa se puede aplicar en procesos en los que se necesite usar el conocimiento de un experto que utiliza conceptos ambiguos o imprecisos o bien en procesos demasiado complejos, cuando no existe un modelo de solución simple o un modelo matemático preciso.

Así mismo se puede aplicar cuando ciertas partes de un sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma confiable y cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras. Por ello mismo no es recomendable utilizar la lógica difusa cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.<sup>207</sup>

Algunas de las aplicaciones que actualmente tiene la lógica difusa esta en:

<sup>205</sup> TRILLAS, ALSINA Y TERRICABRAS (1995) citado en Lazzari, L. et al (1998), *Teoría de la decisión Fuzzy* Argentina: Ediciones Macchi. p. 107

<sup>206</sup> *Ibid*

<sup>207</sup> RAMÍREZ, R. (2008) *Simulación en simmechanics de un sistema de control difuso para el robot udlap*, Tesis para obtener el título en Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica por la Universidad de las Américas Puebla extraída el 12 de julio de 2011 de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/ramirez\\_r\\_o/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/). p. 18

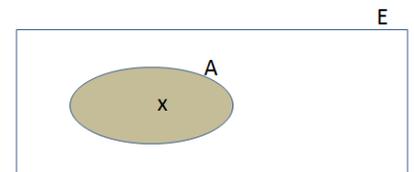
- Control de sistemas: Control de tráfico, control de vehículos, control de compuertas en plantas hidroeléctricas, centrales térmicas, control en máquinas lavadoras, control de metros (mejora de su conducción, precisión en las paradas y ahorro de energía), ascensores, etc.
- Predicción de terremotos, optimización de horarios.
- Reconocimiento de patrones y visión por ordenador: seguimiento de objetos con cámara, reconocimiento de escritura manuscrita, reconocimiento de objetos, compensación de vibraciones en la cámara, sistemas de enfoque automático.
- Sistemas de información o conocimiento: Bases de datos, sistemas expertos.<sup>208</sup>

Originalmente la teoría de conjuntos borrosos se formuló utilizando un conjunto de operadores también válidos para los conjuntos clásicos, por lo que a continuación se verá un poco de estos conjuntos.

## LOS CONJUNTOS NÍTIDOS O CRISP

Con el objeto de generalizar la pertenencia se introduce la "función característica  $\mu_A$ " definida de la siguiente manera:

$$\mu_A: E \rightarrow \{0, 1\} / \begin{cases} \mu_A(x) = 1 & X \in A \\ \mu_A(x) = 0 & X \notin A \end{cases}$$



$\mu_A(x)$  es el grado de pertenencia, ya que si es igual a 1,  $x$  pertenece al conjunto  $A$  y si es igual a 0 entonces  $x$  no pertenece al conjunto  $A$ .

Ilustración 92 Diagrama de Venn

Para separar los elementos en cada par ordenado puede utilizarse una coma (,) o bien una barra (/).

En términos simples, en un conjunto clásico, los elementos pertenecen o no pertenecen a él totalmente tal y como lo muestra el Ejemplo 1

### Operaciones con conjuntos nítidos

Sean A y B subconjuntos de E:

- Unión  $A \cup B = \{x/x \in A \vee x \in B\}$
- Intersección  $A \cap B = \{x/x \in A \wedge x \in B\}$
- Complemento  $\bar{A} = \{x/x \notin A\}$

Si  $\mu_A(x) = 1$  entonces  $\mu_{\bar{A}}(x) = 0$ . Esto es porque si  $\bar{A}$  es el complemento de  $A$  con respecto al referencial  $E$ , si  $x \in A$  entonces  $x \notin \bar{A}$  y viceversa.

Las operaciones definidas entre conjuntos nítidos también se pueden expresar utilizando la función característica de la siguiente manera:

- Unión  $\mu_{A \cup B}(x) = \max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
- Intersección  $\mu_{A \cap B}(x) = \min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$
- Negación  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

## LOS CONJUNTOS FUZZY

### Características de los conjuntos fuzzy

Un conjunto *fuzzy* se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo. Un conjunto *fuzzy* en un universo en discurso puede definirse con la siguiente ecuación:

<sup>208</sup> RAMÍREZ, R. (2008) *Op cit.*

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in U\}$$

Donde  $U$  es el universo en discurso. Cuando más cerca esté la pertenencia del conjunto  $A$  al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable  $x$  al conjunto  $A$ .

Sea  $E$  un conjunto continuo o discreto, se llama subconjunto *fuzzy* de  $E$  (en inglés *fuzzy set*) a todo conjunto de pares ordenados

$$\tilde{A} = \{(x/ \mu_{\tilde{A}}(x)), \forall x \in E\}$$

$\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0,1]$  es la función característica de pertenencia

$\mu_{\tilde{A}}(x)$  Grado o nivel de pertenencia, también conocida como función de pertenencia, de la variable  $x$ .

Ver Ejemplo 2

Se llama soporte de un subconjunto difuso  $\tilde{A}$  de  $E$  al **conjunto nítido** que contiene todos los elementos del referencial cuya función de pertenencia es no nula. Se dice que el Soporte ( $S$ ) de un conjunto *fuzzy* es un conjunto nítido dado que al escribir este conjunto no se incluyen los grados de pertenencia. Está representado por la siguiente expresión: Ver Ejemplo 3 y 4

$$S(\tilde{A}) = \{x/x \in E \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\}$$

Como hemos podido observar, en un conjunto *fuzzy* no solo se escribe el nombre de los elementos, si no que se escriben también grados de pertenencia asociados a cada uno de ellos.

Cuando el conjunto referencial es infinito, el subconjunto borroso se expresa por medio de su función de pertenencia.

La lógica binaria, tal y como ya se mencionó en la introducción, es solamente un caso especial de la teoría del razonamiento aproximado en el cual los conjuntos base tienen dos elementos  $\{T,F\}$  y los grados de pertenencia se restringen a 1 o 0. La lógica *fuzzy* extiende la lógica binaria permitiendo su formalización en términos de la teoría del razonamiento aproximado. Así:

- $p$  es verdadero alcanzaría la representación:  $Vp$  es  $\{1/T, 0/f\}$
- $p$  es falso alcanzaría la representación:  $Vp$  es  $\{0/T, 1/f\}$
- y  $Vp$  es  $\{1/t, 1/f\}$ , indica que el valor de verdad de la proposición es desconocido.

En cualquiera de los casos, el conjunto base asociado a la variable valor de verdad de la proposición  $p$  es  $\{T,F\}$ .

En la lógica *fuzzy* se puede generalizar la regla principal de inferencia de la lógica clásica ( $A \rightarrow B$ ), quedando su esquema de la siguiente forma:

- Regla: Si  $x$  es  $A$ , entonces  $y$  es  $B$ .
- Hecho:  $x$  es  $A'$
- Conclusión:  $y$  es  $B'$

Ver Ejemplo 5

#### Propiedades de conjuntos borrosos

Sean  $\tilde{A}$  y  $\tilde{B}$  dos subconjuntos *fuzzy* de un mismo universal  $E$ .

**Igualdad:**  $\tilde{A}$  y  $\tilde{B}$  son iguales si y sólo si los valores de sus funciones de pertenencia son idénticos (toman los mismos valores para todo  $x$  perteneciente a  $E$ ).

$$\tilde{A} = \tilde{B} \Leftrightarrow \forall x \in E : \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x)$$

En los conjuntos nítidos o crisp, basta con que dos conjuntos tengan los mismos elementos, en los conjuntos *fuzzy* además de tener los mismos elementos, sus grados de pertenencia también deben de ser iguales.

**Inclusión:**  $\tilde{A}$  está incluido en  $\tilde{B}$  o  $\tilde{A}$  es un subconjunto de  $\tilde{B}$  si y sólo si todos los valores de la función de pertenencia de  $\tilde{A}$  son respectivamente menores o iguales que los correspondientes de  $\tilde{B}$

$$\tilde{A} \subset \tilde{B} \Leftrightarrow \forall x \in E : \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$$

En los conjuntos nítidos o crisp, basta con que un conjunto contenga los elementos de otro conjunto para que sea llamado un subconjunto (*subset*) el uno del otro, en la lógica *fuzzy*, se da por entendido que los conjuntos comparten los mismo elementos, y entonces un conjunto es un subconjunto de otro si además de coincidir con los mismos elementos, los grados de pertenencia son menores o iguales a los de su *superconjunto*.

### Operaciones con subconjuntos fuzzy

Con los subconjuntos *fuzzy* pueden definirse las mismas operaciones que con los nítidos y aún más. Sin embargo, debido a que dos conjuntos *fuzzy* que se encuentren dentro de un mismo conjunto universal contienen los mismos elementos, es necesario explicar cómo se llevan a cabo las operaciones de unión, intersección y complemento.

Al efectuar la función **Unión** de dos conjuntos difusos pertenecientes a un mismo conjunto universal  $U$ , se crea un nuevo conjunto *fuzzy* que contiene los grados de pertenencia más altos. Para la función **intersección** ocurre lo opuesto, y se toman los valores más pequeños. Para la función **complemento**, se restan de la unidad cada uno de los valores de pertenencia de cada elemento del conjunto.

Existen otras dos operaciones que solo aplican para los conjuntos difusos, las cuales son de **concentración**, que es usada cuando se utilizan nociones como "muy" o "demasiado", ya que esta función implica elevar al cuadrado cada uno de los grados de pertenencia de cada elemento de un conjunto dado, y con esto se disminuye el grado de pertenencia de cada elemento dado que los valores van del 0 al 1. La función **Dilatación**, por el contrario, es lo opuesto a la función concentración y consiste en obtener la raíz de cada grado de pertenencia de cada elemento.

En los subconjuntos borrosos, ni la ley del tercero excluido,  $\tilde{A} \cap \tilde{A}^c$  en la que todos los valores deberían de ser 1, ni la ley de contradicción, en la que todos los valores deberían de ser 0,  $\tilde{A} \cup \tilde{A}^c$  se verifican y es por ello que los subconjuntos *fuzzy* no forman un álgebra de Boole.

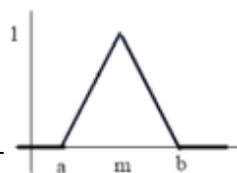
Ver Ejemplo 6

### Funciones de pertenencia

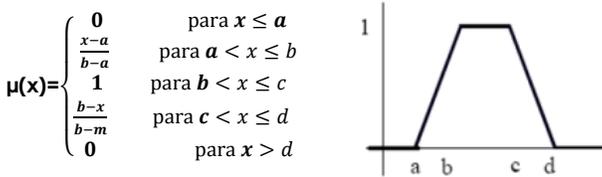
Existen ciertas funciones, llamadas funciones de pertenencia, que son más comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática al momento de definir un conjunto *fuzzy*. Estas son las que a continuación se explican:

#### **Función de pertenencia para un conjunto fuzzy triangular**

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{para } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{para } m < x \leq b \\ 0 & \text{para } x > b \end{cases}$$

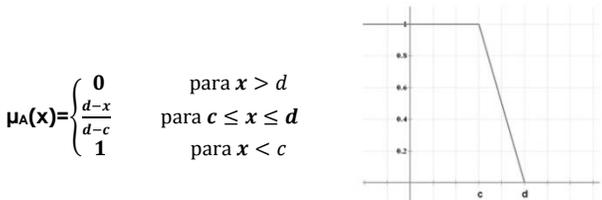


**Función de pertenencia para un conjunto fuzzy trapezoidal**

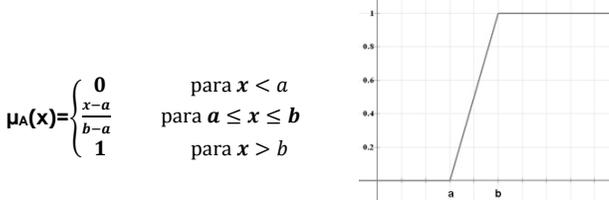


Dentro de la función trapezoidal existen dos casos particulares denominados funciones R y L.

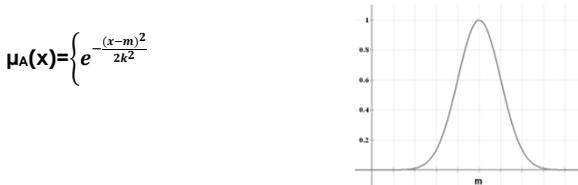
La función R presenta parámetros  $a=b=-\infty$



La función L presenta parámetros  $c=d=+\infty$



Finalmente la **función gaussiana** queda definida por su valor medio m y una desviación estándar  $k > 0$ . Cuanto menor es k más estrecha es la campana.



**Construcción del modelo fuzzy**

La estructura de un modelo fuzzy consta de una base matemática y una base del conocimiento que en su conjunto logran la fusificación, inferencia y defusificación de los datos para dar datos de salida. (Ilustración 93)

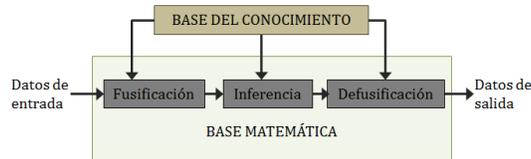


Ilustración 93 estructura de modelo difuso

**La base del conocimiento** contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetos del control. Es decir, se almacenan las reglas IF-THEN, obtenidas por los expertos. En esta etapa se deben definir las reglas lingüísticas del control que realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que debe actuar el sistema.

**La fusificación** tiene como objetivo convertir valores *crisp* o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

**La inferencia o motor de inferencia** relaciona los conjuntos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. Simula el razonamiento humano. En la inferencia se utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones.

**La defusificación** realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores *crisp*, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del centroide, método del promedio ponderado y método de membresía del medio del máximo.<sup>209</sup>

Para la construcción de conjuntos borrosos para ser usados en sistemas inteligentes se requieren técnicas específicas de adquisición de conocimiento entre las que se encuentran: las entrevistas y formularios.

Los sistemas basados en el conocimiento, la función de pertenencia debe ser obtenida del experto en ese dominio de conocimiento. Esta función no ha de ser confundida con una función de distribución de probabilidad basada en la repetición de las observaciones, sino en la opinión del experto.

La representación habitual del conocimiento en términos borrosos se realiza por medio de reglas del tipo:

Si  $x_1$  es  $A_{1,1}$   
 y/o  $x_2$  es  $A_{2,1}$   
 y/o  $x_n$  es  $A_{1,n}$   
 Entonces  $y$  es  $B_1$

Cada variable que interviene como hipótesis en una regla tiene asociado un dominio. Cada dominio puede estar dividido en tantos conjuntos borrosos como el experto considere oportuno. Cada una de estas particiones tiene asociada una etiqueta lingüística.<sup>210</sup>

El **term-set** (conjuntos *fuzzy*) es un conjunto finito prioritariamente con  $7 \pm 2$  elementos, que son restricciones de una variable lingüística difusa. Este conjunto de elementos debe ser suficiente para describir cualquier situación relativa al contexto en el que se sitúa el problema. **Ver Ejemplo 7**

Enfoque de Mamdani

<sup>209</sup> RAMÍREZ, R. (2008) *Op cit.* P. 22-24

<sup>210</sup> OLIVAS, Varela J.A., (2001), *La lógica difusa y sus aplicaciones*, Extraído el 24 de julio del 2011 del sitio web: <http://arantxa.ii.uam.es/~dcamacho/logica/recursos.htm>

Bajo el enfoque de **Mamdani** un experto especifica su conocimiento en forma de reglas lingüísticas que van a describir los estados de las variables.

Para cada entrada ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) se ha de especificar la correspondiente etiqueta lingüística que defina la salida **Y**. Cada una de las **n** variables de entrada y la de salida han de repartirse en conjuntos borrosos (*fuzzy set*) específicos con sus respectivos significados.

El método de Mamdani es útil únicamente cuando el número de las variables que se tienen es reducido. Esto es dado que el número de las reglas aumenta exponencialmente con el número de variables en la parte premisa, además, cuántas más reglas haya que construir, más difícil es saber si son adecuadas ya que si el número de variables en la parte premisa es demasiado grande, será difícil comprender la relación causal entre las premisas y las consecuencias. Ver Ejemplo 8

En la actualidad existe software que permite ingresar las variables, sus grados de pertenencia y reglas para construir modelos difusos.

#### Enfoque de Takagi-Sugeno-kang

Bajo este enfoque, se mantiene la misma especificación de las particiones *fuzzy* de los dominios de las entradas que en el modelo de Mamdani, pero no se requiere una partición *fuzzy* del dominio de salida. Las reglas de control deben contener una función **f**, de  $X_1, \dots, X_n$  en **Y** que se supone generalmente lineal.

Se caracterizan por tener reglas de la forma:

$$R: \text{Si } x \text{ is } A \text{ y } w \text{ es } B \text{ then } z=f(x,w).$$

Donde, **A** y **B** son conjuntos difusos definidos en el antecedente de la regla y **f(x,w)** es una función polinómica que depende de las entradas. Si **f(x,w)** es un polinomio de primer orden se dice que el sistema de Sugeno es de primer orden. Si **f** es una constante se dice que es un sistema de Sugeno de orden cero.

Este método posee la ventaja de que a diferencia del anterior en el que el número de reglas es el máximo posible, en éste el número de reglas resultante es menor que el anterior.

La implementación de este tipo de esquemas no es sencilla, ya que el problema de determinar la función de pertenencia óptima implica un problema de programación no lineal. De hecho la elaboración de modelos bajo este enfoque requiere según expertos, de mucha *información y tiempo de entrenamiento*.

## **EJEMPLOS**

### **Ejemplo 1:**

Sea:

$$E = \{a, e, i, o, u\} \text{ y } A = \{e, o, u\}$$

Entonces podemos escribir:

$$\mu_A(a)=0, \mu_A(e)=1, \mu_A(i)=0, \mu_A(o)=1, \mu_A(u)=1$$

Lo cual también puede ser expresado:

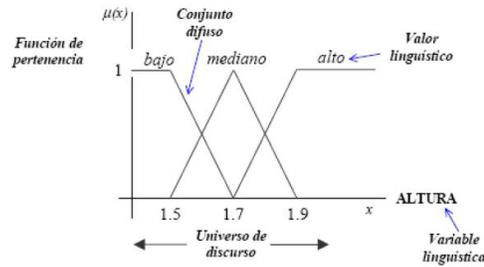
$$A = \{(a/0), (e/1), (i/0), (o/1), (u/1)\}$$

De esta manera figuran todos los elementos del referencial con sus respectivos grados de pertenencia.

En esta misma lógica, el conjunto referencial o universal puede representarse con esta misma notación:

$$E = \{(a/1), (e/1), (i/1), (o/1), (u/1)\}$$

**Ejemplo 2**



**Ejemplo 3**

Sean un conjunto de inversiones

$$E = \{a, b, c, d, e, f\}$$

Tales que:

<b>a</b>	bonex
<b>b</b>	acciones
<b>c</b>	fondo de inversión
<b>d</b>	plazos fijos
<b>e</b>	bonos Brady
<b>f</b>	otros activos

Y que en un determinado periodo

<b>a</b>	Muy buena
<b>b</b>	mala
<b>c</b>	regular
<b>d</b>	muy redituable
<b>e</b>	bastante buena
<b>f</b>	bastante mala

Podemos definir en el conjunto de inversiones **E**, el siguiente subconjunto borroso:

$$\tilde{A} = \{(a/1), (b/0), (c/0.5), (d/0.9), (e/0.7), (f/0.4)\}$$

El conjunto  $\tilde{A}$ , o cualquier conjunto fuzzy incluido en un referencial finito, también puede expresarse de la siguiente manera:

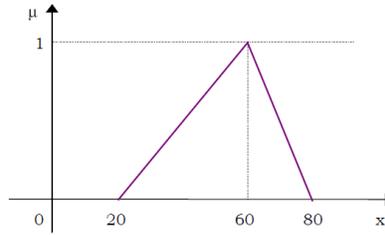
<b>x</b>	a	b	c	d	e	f
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	1	0	0.5	0.9	0.7	0.4

El soporte de dicho subconjunto sería:

$$S(\tilde{A}) = \{a, c, d, e, f\}$$

**Ejemplo 4**

Se sabe que el costo de un artículo no será inferior a \$20.00 ni mayor a \$80.00 y que lo más posible es que sea de \$60.00. Esta situación puede ser representada por un subconjunto borroso triangular como a continuación se muestra.



El conjunto  $\tilde{C}$  representa el costo del artículo considerado. Su función de pertenencia es  $\forall x \in \mathfrak{R}$  (conjunto referencial de los números reales):

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 20 \\ \frac{x-20}{40} & \text{si } 20 \leq x \leq 60 \\ \frac{80-x}{20} & \text{si } 60 \leq x \leq 80 \\ 0 & \text{si } x > 80 \end{cases}$$

**Ejemplo 5**

Regla: Si la ciudad es grande (x es A) el tráfico es denso (y es B)

Hecho: La ciudad no es muy grande (x es A')

En este caso ¿Qué se podría decir del tráfico?

Conclusión: (B'(x))?

**Ejemplo 6**

Sea el conjunto referencial  $E = \{a, e, i, o, u\}$  y los subconjuntos borrosos  $\tilde{A}$  y  $\tilde{B}$  tales que los valores de sus funciones de pertenencia son:

x	a	b	c	d	e
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	1	0	.5	.9	.7
$\mu_{\tilde{B}}(x)$	.8	.6	.2	1	.8

Los valores de las funciones de pertenencia de  $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ , de  $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ ,  $\overline{\tilde{A}}$ ,  $\overline{\tilde{B}}$ ,  $\tilde{A} \cup \overline{\tilde{A}}$  y  $\tilde{A} \cap \overline{\tilde{A}}$  son respectivamente:

	$\overline{\tilde{A}}$				
x	a	e	i	o	u
$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x)$	1	.6	.5	1	.8
$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x)$	.8	0	.2	.9	.7
$\mu_{\tilde{B}}(x)$	.2	.4	1	0	.2
$\mu_{\tilde{A}}(x)$	1	0	.5	.9	.7
$\mu_{\overline{\tilde{A}}}(x)$	0	1	.5	.1	.3
$\mu_{\tilde{A} \cup \overline{\tilde{A}}}(x)$	1	1	.5	.9	.7
$\mu_{\tilde{A} \cap \overline{\tilde{A}}}(x)$	0	0	.5	.1	.3

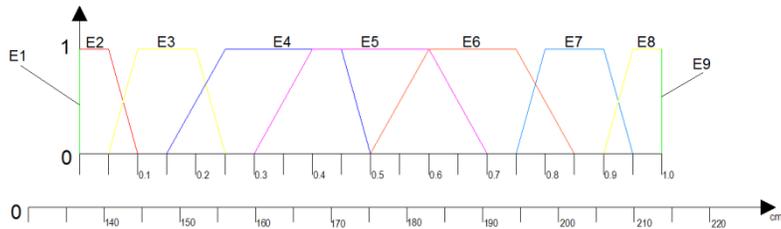
**Ejemplo 7**

Una descripción estándar de lo que se entiende por altura referida a personas puede quedar representado de la siguiente manera.

TABLA DE TÉRMINO CON UNA DESCRIPCIÓN ESTÁNDAR DE LO QUE SE ENTIENDE POR ALTURA EN LAS PERSONAS.

Valores lingüísticos	( a . b . c . d )
E1: Bajísimo	( 0.00 , 0.00 , 0.00 , 0.00 )
E2: Muy bajo	( 0.00 , 0.00 , 0.05 , 0.10 )
E3: Bastante bajo	( 0.05 , 0.10 , 0.20 , 0.25 )
E4: Ligeramente bajo	( 0.15 , 0.25 , 0.40 , 0.50 )
E5: Normal	( 0.30 , 0.40 , 0.60 , 0.70 )
E6: Ligeramente alto	( 0.50 , 0.60 , 0.75 , 0.85 )
E7: Bastante alto	( 0.75 , 0.80 , 0.90 , 0.95 )
E8: Muy alto	( 0.90 , 0.95 , 1.00 , 1.00 )
E9: Altísimo	( 1.00 , 1.00 , 1.00 , 1.00 )

Quedando gráficamente representado de la siguiente manera:



### Ejemplo 8

Supongamos la siguiente base de reglas:

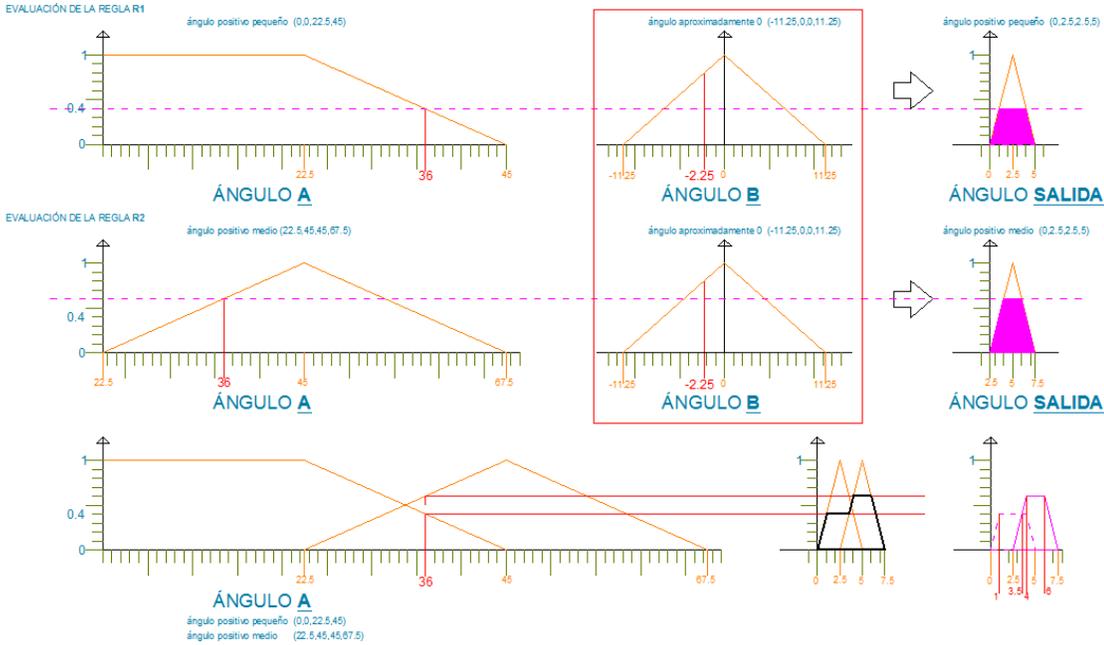
- **R<sub>1</sub>**: Si ángulo A es positivo pequeño y ángulo B es aproximadamente cero → Entonces ángulo de salida es positivo pequeño.
- **R<sub>2</sub>**: Si ángulo A es positivo medio y ángulo B es aproximadamente cero → Entonces ángulo de salida es positivo medio.

( Las variables de entrada –ángulo A y ángulo B- y la de salida (ángulo de salida) tienen cada una asignada un *term-set*.)

Supongamos ahora que los datos reales medidos son los siguientes:

- Ángulo A = 36°
- Ángulo B = -2.25°

¿Cuál debe de ser la salida (orden) que debe dar el controlador difuso?



La salida es la asociación de cada tupla de entradas medidas  $(x_1, \dots, x_n) \in X_1 \times \dots \times X_n$  con un conjunto borroso de salida para Y, ésta necesita estar dada a modo de un valor concreto y no como un conjunto difuso, por ello es necesaria una interfaz de "defusificación". A continuación se describen tres estrategias comunes para esta interfaz.

- 1.- Usar algún valor dentro del máximo del conjunto de salida. **[4°,6°]**
- 2.- Usar la media de los máximos. **5°**
- 3.- Calcular la proyección sobre el eje del centro de gravedad del conjunto borroso de salida. **3.9°**

## ANEXO 17 Gestión de los RCD

Tabla 28 Materiales: su posible gestión y desventajas o impedimentos a estas tareas

Material	1.-Reutilizables	Des/imp.	Reciclaje						No reciclables
			2.-Primario	Des/imp.	3.-Secundario	Des/imp.	4.-Terciario	Des/imp.	
<b>A.-RESIDUOS HETEROGÉNEOS</b>									
Adoquines	A 1.1	A 1.4			A 2.1	A 2.2			
Blocs	A 1.2	A 1.4			A 2.1	A 2.2			
Ladrillo	A 1.3	A 1.4			A 3.1	A 3.2			
Concreto simple					A 3.1	A 3.2			
Concreto armado					A 3.1	A 3.2			
mampostería					A 3.1	A 3.2			
Fresado de carpeta asfáltica					A 3.1	A 3.2			
Cerámicos					A 3.1	A 3.2			
Bovedilla					A 3.1	A 3.2			
Mortero					A 3.1	A 3.2			
<b>B.-METÁLES</b>									
Acero	B 1.1		B 2.1	B 2.6					
Acero inoxidable			B 2.1	B 2.6					
Cobre			B 2.2	B 2.6					
bronce			B 2.3	B 2.6					
Latón			B 2.3	B 2.6					
Latón cromado			B 2.3	B 2.6					
Aluminio			B 2.4	B 2.6					
Hierro			B 2.4	B 2.6					
<b>C.-MADERAS</b>									
Madera para cimbra de contacto	C 1.1				C 3.1		C 4.1		
Madera para cimbra complementaria	C 1.1				C 3.1		C 4.1		

Madera para acabados					C 3.1	C 4.1			
<b>D.-PLÁSTICOS</b>									
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)					D 3.1				
Baquelita									
Cloruro de polivinilo clorado (CPVC)					D 3.2				
Policloruro de vinilo (PVC)					D 3.4				
Poliestireno expandido(EPS)					D 3.3				
Poliétileno reticulado (PEX)						D 4.1			
<b>F.-OTROS MATERIALES Y ORGÁNICOS</b>									
Vidrio	F 1.1	F 1.2	F 2.1						
Tablaroca					F 3.1				
Residuos de pintura					F 3.2				

Des/imp: Desventajas o cuestiones que imposibilitan la gestión

**A.- REAPROVECHAMIENTO DE RESIDUOS HETEROGÉNEOS: ADOQUINES, ARCILLAS, BLOCS, LADRILLOS, CONCRETO ARMADOS, CONCRETOS SIMPLE, MAMPOSTERÍAS, FRESADOS DE CARPETA ASFÁLTICA CONCRETO, BOVEDILLAS Y CERÁMICOS.**

**1.- Reutilización de: adoquines, blocs y ladrillos.**

1.1. - Reutilización de adoquines

Una ventaja que tiene la utilización de adoquines sobre otros pavimentos se da en casos de reparaciones en las redes de servicio subterráneas, ya que permite su levantamiento sin provocar deterioro de los mismos para su posterior reutilización, evitando los “parches” que se producen con otros sistemas.<sup>211</sup> Se pueden reutilizar de un 90% a un 95% de los adoquines.<sup>212</sup>

1.2.- Reutilización de Blocs de concreto

La reutilización de blocs de concreto es posible siempre, sin embargo, estará sujeta en gran medida a la compatibilidad con el material que se empleó como adhesivo. Ver compatibilidad de materiales

1.3.- Reutilización de ladrillos

Existe una controversia sobre si es bueno o no reutilizar ladrillos:

Quienes están a favor señalan que pueden ser reutilizados de muchas maneras diferentes para lo cual requieren de una previa preparación la cual consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Remojar los ladrillos en agua durante cinco minutos
- 2.- Retirar el mortero del ladrillo

<sup>211</sup> GARCÍA SAEZ, R. (2004) *Manual para el uso del adoquín cerámico*. HISPALYT – SECCION ADOQUINES., España. [Versión electrónica] extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [www.pieraecoceramica.es/docs/cat\\_uso\\_adoq\\_ceram.pdf](http://www.pieraecoceramica.es/docs/cat_uso_adoq_ceram.pdf)

<sup>212</sup> BIGMAT (s.f.) Adoquín de hormigón . Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [www.bigmat.es/pdfs/03\\_adoquin.pdf](http://www.bigmat.es/pdfs/03_adoquin.pdf)

- 3.- Utilizar una solución de ácido muriático en agua para aflojar mortero difícil de quitar.
- 4.- Dar una limpieza final al ladrillo con un cepillo de alambre.<sup>213</sup>

Por otra parte la asociación de la industria de ladrillo en estados unidos (BIA) señala en la nota técnica número quince señala que ambas ideas, la de que "el ladrillo por ser un material extremadamente durable puede ser recuperado y reutilizado", así como la de que "si el ladrillo cumplía satisfactoriamente con sus propiedades técnicas en la construcción inicial, puede cumplir satisfactoriamente con ellas en una nueva construcción", son falsas, para lo que da la siguiente explicación:

Cuando el ladrillo se pone en contacto con un mortero por vez primera, este absorbe agua y algunas partículas de material cementante. La tasa de absorción inicial (de succión) es un factor importante que afecta el vínculo entre el mortero y el ladrillo. Ladrillos con succión extremadamente alta o baja no generan buenos vínculos.

Otro factor que se presenta cuando se desea reutilizar los ladrillos es el hecho de que los poros en los ladrillos se llenan de partículas de cal, suciedad u otro material perjudicial. Estas superficies de contacto, a pesar de no estar completamente limpias serán recubiertas con mortero. La unión de mortero nuevo con mortero antiguo no es muy fuerte. Esto ha sido demostrado en diversos estudios expuestos en la sección de exámenes.<sup>214</sup>

#### 1. 4.- Inconvenientes de la reutilización de blocs adoquines y ladrillos.

El incremento en el tiempo que toma retirar y limpiar cualquiera de estos elementos en comparación con el requerido para demoler y sacar el escombro es el principal obstáculo cuando se pretende reutilizar estos elementos.

### **3.1.- Reciclaje secundario de adoquines, arcillas, blocs, ladrillos, concreto armados, concretos simple, mamposterías, fresados de carpeta asfáltica, bovedillas y cerámicos.**

En el estudio que presentan Domínguez Lepe. J.<sup>215</sup> y Martínez L. Emilio<sup>216</sup> se demuestra que la reinserción, de residuos heterogéneos de concreto, bloques, bovedillas, cerámica y mortero, es una alternativa viable en la construcción, sobre todo en módulos de viviendas.

El estudio consistió en la recolección de una muestra de residuos de construcción heterogéneos de: concreto, bloques, bovedillas, cerámica, mortero y acabados diversos, evitando la contaminación con otros materiales, como: vidrio, madera, plástico, cartón, papel y metales entre otros, para la posterior fabricación de: bloques, mosaicos, adoquines y concreto. Se fabricaron simultáneamente con agregados naturales los mismos elementos (bloques, mosaicos, adoquines y concreto) con agregados naturales, bajo el mismo proporcionamiento y sin hacer mezclas entre los agregados reciclados y naturales. Finalmente se efectuaron ensayos físico-mecánicos básicos en laboratorio dando como resultado una disminución mínima entre la resistencia de los elementos fabricados a partir de agregados reciclados en relación con los fabricados con agregados naturales, lo cual supone que un reciclaje secundario de estos residuos es posible.<sup>217</sup>

Por otra parte, es un hecho que la planta de concretos reciclados recibe el siguiente material: adoquines, arcillas, blocs, ladrillos, cerámicos, concreto armados, concreto simple, mamposterías y fresados de carpeta asfáltica para procesarlos y obtener de ellos material para la estabilización de suelos, rellenos y filtros.<sup>218</sup>

#### 3.2.- Barreras que dificultan o impiden el reciclaje de los residuos heterogéneos: adoquines, arcillas, blocs, ladrillos, concreto armados, concretos simple, mamposterías, ladrillos, fresados de carpeta asfáltica concreto, bovedillas y cerámicos

Algunos inconvenientes de estas prácticas "superficiales" que buscan darle una nueva "vida" a los residuos de construcción, son:

1. El material producto del proceso de reciclaje es de menor calidad al material primario, es decir, no se lleva a cabo un reciclaje primario ya que como producto final solo se obtienen agregados pétreos, mismos que están muy lejos de ser las piezas cerámicas, los ladrillos, los blocks o el acero que inicialmente se utilizó. Esto puede parecer imposible sin embargo se puede eficientar el reciclaje de esta materia si se lleva a cabo una deconstrucción a una estructura que contemplo este concepto como principio de diseño.
2. Resulta poco rentable a pequeña escala dado que requiere de una demolición selectiva misma que actualmente solo se practica en grandes obras pues los requerimientos necesarios son, según refiere esta empresa a la que ya hemos citado:

<sup>213</sup> HOGAN, M., (2010) *How to reuse brick*. Extraído del sitio web eHOWHOME el 07 de noviembre de 2011 de: [http://www.ehow.com/how\\_7713128\\_reuse-brick.html](http://www.ehow.com/how_7713128_reuse-brick.html)

<sup>214</sup> THE BRICK CONSTRUCTION INDUSTRY ASSOCIATION (1988) *Technical notes on brick construction: Technical Notes 15 - Salvaged Brick*. The brick construction industry association. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: <http://www.bia.org/TechnicalNotes/tabid/7658/Default.aspx>

<sup>215</sup> DOMÍNGUEZ L. J. es Profesor Titular "C". Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México.

<sup>216</sup> MARTÍNEZ L. E. es Profesor Investigador. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"

<sup>217</sup> DOMÍNGUEZ, L. J. y MARTÍNEZ, L. E. (2007). *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas*. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-3, pp. 43-54, ISSN: 1665-529X

<sup>218</sup> CONCRETOS RECICLADOS (s.f.) *Materiales por reciclar y productos y servicios*. Extraído el 05 de noviembre del 2011 de: <http://www.concretosreciclados.com.mx/es/productos.php>

3. Contar con una superficie lo suficientemente grande y adecuada, no solo para realizar la propia actividad, sino también, contar con una superficie proporcional para el amortiguamiento del impacto al medio ambiente, áreas verdes, oficinas, talleres, estacionamiento vehicular, caminos de acceso, etc.
4. Separar y almacenar los diferentes tipos de desechos que se reciban de acuerdo a su composición. Esto es, separar arcillas, materiales producto de demolición o sobrantes de construcción, fresados, etc.
5. Contar con riegos de agua por aspersión para la estabilización de polvos. En el caso particular de Concretos Reciclados la actividad se desarrollará en una depresión de 30 m. de profundidad que facilita la precipitación de los polvos dentro de la misma superficie.
6. Los vehículos que transporten desechos de la construcción deberán utilizar rutas que sean las más convenientes a fin de evitar conflictos viales, procurando que circulen con lonas para evitar el derrame de material y prevenir la contaminación atmosférica por la emisión de partículas.
7. Peparar el escombro, con el objeto de eliminar los residuos de contaminantes en el reciclado que aún pudiera contener, como son: papel, plásticos, madera, textiles, etc.,
8. Los recursos humanos y energéticos empleados son muy altos debido en parte a lo anterior. Esto debido en gran medida a que se recicla parcialmente un bien que al ser diseñado y construido no se pensó que con el tiempo iba a ser afectado por alguna de estas dos actividades (remodelación o construcción), y finalmente
9. No se logra un reciclaje integral si no únicamente de estos agregados pétreos de los que se ha venido tratando, dando lugar a un desperdicio de otros materiales valorizables.

### **B.- REAPROVECHAMIENTO DE METALES**

#### **1.- Reutilización de metales**

#### **2.- Reciclaje primario de metales**

##### 2.2.- Reciclaje primario del cobre

El cobre es uno de los metales más reciclados. El cobre reciclado (también llamado cobre secundario) no se diferencia del cobre primario una vez que este ha sido procesado. El reciclaje del cobre contribuye entre otras cuestiones a un ahorro energético considerable.<sup>219</sup> En México existen diversas plantas que reciclan cobre.

Un ejemplo sorprendente del reciclaje del cobre se puede encontrar en Estados Unidos, donde cada año se recupera casi tanto cobre del material reciclado como del derivado de mineral recién explotado. Si se excluye la producción de alambre que utiliza principalmente cobre refinado, la cantidad de cobre utilizado en las plantas de cobre y bronce, en las fábricas de lingotes, en las fundiciones, en las plantas de metal en polvo y otras industrias demuestra que casi tres cuartos del material proviene de chatarra de cobre reciclado.<sup>220</sup>

##### 2.3.- Reciclaje primario del bronce

El bronce es una aleación metálica que lleva como base el cobre y puede ser aleado con el estaño, plomo, zinc, aluminio, níquel, manganeso y hierro; variando sus porcentajes para dar un uso específico y propiedades adecuadas a las necesidades del cliente. Existen varios grupos o familias de bronce que tienen sus propiedades y particularmente definidas sus características que determinan los usos de las piezas.

Estas familias pueden ser bronce rojo, bronce amarillo (latones), bronce al plomo, bronce al estaño, bronce al aluminio, bronce al manganeso y bronce al Silicio.<sup>221</sup>

A partir de lo que se lee en el estudio de Evaluación del impacto ambiental de uniones roscadas en bronce mediante el análisis del ciclo de vida (ACV) de productos<sup>222</sup>, el bronce además de ser un material que es posible reciclar a nivel primario del uso de material reciclado reduce notablemente los impactos globales del en comparación con su producción a partir de materia virgen. Las ventajas de reciclar el

<sup>219</sup> **INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP** (2007), *The World Copper Factbook 2007*, Extraído SCRIBD el 10 de febrero del 2011 de la dirección: <http://es.scribd.com/doc/7737663/2007-World-Copper-Fact-Book>. p.5

<sup>220</sup> **PROCOBRE** (2007) Cobre para todos / Medio ambiente. Extraído el 07 de noviembre de 2011 de: [http://www.procobre.org/procobre/cobre\\_para\\_todos/produccion.html](http://www.procobre.org/procobre/cobre_para_todos/produccion.html)

<sup>221</sup> **METALES CENTRIFUGADOS S.A. de C.V.** (s.f.) ¿ Qué es el bronce? . Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.metalescentrifugados.com/bronze.htm>

<sup>222</sup> **FÚQUENE RETAMOSO, C. Et al;** (2010). Evaluación del impacto ambiental de uniones roscadas en bronce mediante el análisis del ciclo de vida (ACV) de productos. Ingeniería y Universidad [versión electrónica], extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47715443003>. ISSN 0123-2126.

bronce también radican en que por ser un compuesto del cobre es considerado como un material tóxico. Según la Organización Mundial de la Salud el nivel máximo tolerado de cobre en agua es 2mg/l.<sup>223</sup>

#### 2.4.- Reciclaje primario del aluminio

El aluminio es 100% reciclable, esto quiere decir que el aluminio en desuso puede convertirse en aluminio nuevo sin ninguna merma en sus cualidades, en un proceso que además necesita de poca energía y que representa un consumo de solo el 5% del que se necesitó para hacer la materia prima inicial.

Al aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario.

El aluminio es hoy en día uno de los principales desechos urbanos, ya que se encuentra en gran cantidad de productos alimenticios, siendo lo más común encontrarlo en las latas de bebida. Es comprobable también su utilización en construcción y transporte.

Para reciclar el aluminio solamente es necesario recolectarlo en primer medida, por lo que es muy importante que se separe de los demás desperdicios desde el propio hogar. Reserva un cubículo donde puedas almacenar todos los restos de este metal que ya no sirva, para luego llevarlo a una fundidora especializada.

El proceso de reciclaje conlleva un proceso de pretratamiento, fundición y refinado en el que se utilizan combustibles, fundentes y aleaciones. El producto obtenido recibe el nombre de aluminio secundario, teniendo las mismas cualidades que el primario y siendo mucho más barato.<sup>224</sup>

#### 2.5.- Reciclaje primario del Hierro

El hierro fundido, es también un material con una alta capacidad para ser reciclado. A pesar de se le denomina hierro secundario a aquel que se fabrica de residuos reciclados, sus características son en esencia las mismas con el que se fabrica a partir de materia virgen.<sup>225</sup>

#### 2.6.- Barreras que dificultan o imposibilitan el reciclaje de metales

A pesar de que los metales por lo regular son fácilmente reciclables es importante tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los metales enchapados presentan más dificultades para ser reciclados que los que no están enchapados.
- Los metales de baja aleación son más reciclables que los de alta aleación
- La mayoría de las fundiciones son fácilmente reciclables
- La contaminación de hierro o acero con cobre, estaño, zinc, plomo o aluminio reduce la capacidad de reciclaje.
- La contaminación de aluminio con hierro, acero, cromo, zinc, plomo, cobre o magnesio reduce la capacidad de reciclaje.
- La contaminación de zinc con acero, hierro, plomo, estaño o cadmio, reduce la capacidad de reciclaje.<sup>226</sup>

### **C. REAPROVECHAMIENTO DE MADERAS**

#### **1.1. Reutilización de la madera**

La madera puede utilizarse en cimbra, clasificándose como:

- Cimbra de contacto: Aquella que durante la elaboración del elemento estructural se encuentra en contacto directo con el concreto, formando el molde y proporcionando las dimensiones y el acabado que se requiera.
- Cimbra complementaria: es aquella que sostiene al molde y ubica estructuralmente al elemento.

Todos los elementos de una cimbra pueden emplearse varias veces, es decir pueden reutilizarse previa transformación. Sin embargo hay que tomar en cuenta que no todos resisten el mismo número de usos: Factor de uso: cimbra de contacto de 4 a 6 usos; cimbra complementaria de 8 a 10 usos.

#### **3.1.-Reciclaje secundario de madera**

Entre los usos posteriores más comunes a los que se destina la madera recuperada se encuentran los sectores de fabricación de tablero aglomerado, de producción energética, de fabricación de composta y usos ganaderos. Aproximadamente el 45-50% del total de la

<sup>223</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2010) ANEXO 4: Cuadros de información resumida sobre sustancias químicas. Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: [http://search.who.int/search?q=cobre+1%C3%B3xico&ie=utf8&site=default\\_collection&client=\\_es&proxystylesheet=\\_es&output=xml\\_no\\_dtd&oe=utf8](http://search.who.int/search?q=cobre+1%C3%B3xico&ie=utf8&site=default_collection&client=_es&proxystylesheet=_es&output=xml_no_dtd&oe=utf8)

<sup>224</sup> ECOLOGISMO.COM (2009) *Reciclaje de aluminio*, Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.ecologismo.com/2009/01/12/reciclaje-de-aluminio/>

<sup>225</sup> CEMPRE (1998) Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Cap. V. CEMPRE, Uruguay. [versión electrónica] extraída el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71&Itemid=1](http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=1)

<sup>226</sup> CHIODO J.,D., (2005) Design for Disassembly Guidelines., Extraído el 06 de noviembre del 2011 de: [www.activedisassembly.com/guidelines/](http://www.activedisassembly.com/guidelines/)

madera consumida en 2004 por el tablero aglomerado, principal sector reciclador, procedía ya desde aquel entonces del reciclaje de residuos.<sup>227</sup>

### 4.1.- Reciclaje terciario de madera

La madera en desuso puede ser recolectada y utilizada como biomasa por ciertos focos industriales para su posterior uso como fuente energética limpia.

## D.- REAPROVECHAMIENTO DE PLÁSTICOS

### 3. Reciclaje secundario de plásticos

#### 3.1.- Reciclaje secundario del Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

El acrilonitrilo butadieno estireno o ABS es un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos. Es un copolímero obtenido de la polimerización del estireno y acrilonitrilo en la presencia del polibutadieno. Sus principales aplicaciones las encontramos en: Carcasas de electrodomésticos y de teléfonos, cubiertas internas de las puertas de refrigeradores, fabricación de tubería sanitaria como sustituto del PVC, además se pueden usar en aleaciones con otros plásticos, por ejemplo, el ABS con el PVC lo que da un plástico de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.<sup>228</sup>

Por los datos que revela la empresa BASF plastics un máximo de 20% de material triturado puede ser molido con material virgen que no haya sido previamente contaminado o degradado. Además no todas las aplicaciones permiten el uso de material triturado. Aquellas que lo permitan deben de ser probadas previamente para verificar que sus propiedades mecánicas son las adecuadas.<sup>229</sup>

#### 3.1.- Reciclaje secundario de Cloruro de polivinilo clorado (CPVC)

Recientemente, Franklin Associates, un grupo de investigación de terceras partes y miembro del Eastern Research Group, realizó un estudio LCA para la Asociación de Tuberías de Plástico y Accesorios (PPFA) para examinar las cargas ambientales del Cloruro de polivinilo clorado (CPVC), el Polietileno reticulado (PEX) y varios tipos de sistemas de tuberías de cobre. Este estudio en profundidad LCI apoya la utilización de tuberías de plástico en proyectos de construcciones ambientales, debido a su carga ambiental favorable y sus potenciales resultados en el calentamiento global.

Conviene señalar aquí que los requerimientos de energía para el cobre son todavía considerablemente mayores que los de los tubos de cloruro de polivinilo clorado (CPVC) o polietileno reticulado (PEX), incluso luego de la fabricación con alto contenido de cobre reciclado. Eso se debe en gran parte a que el cobre requiere un intensivo proceso de explotación de energía minera. El plástico requiere mucho menos energía de proceso para derretirlo y moldearlo en dimensiones de tubos, con el cloruro de polivinilo clorado (CPVC) requiriendo aún menos energía total que el polietileno reticulado (PEX). Debido a que el cloruro de polivinilo clorado (CPVC) pesa aproximadamente un sexto del peso del cobre, se requiere menos energía de combustible fósil para transportar la tubería desde el lugar de fabricación hasta el lugar de trabajo.

El cloruro de polivinilo clorado (CPVC) es un material termoplástico, lo que significa que se hace más suave cuando se expone al calor y más duro cuando se expone al frío. Esta propiedad le permite ser reciclado y transformado en otro producto de tubería o en aplicaciones no relacionadas a la tubería, tales como materiales para el revestimiento exterior, para cercas o para terrazas. Todos los productos termoplásticos, incluyendo plásticos de vinilo tales como el CPVC, se pueden reciclar y reprocesar en productos de segunda generación.<sup>230</sup>

#### 3.2.- Reciclaje terciario del Polietileno reticulado (PEX)

El polietileno reticulado (PEX) es un termoestable, lo que significa que el material no se puede reciclar a través de su derretimiento y su reforma para nuevos usos. Sin embargo, la energía en este tipo de tubo de plástico se puede recuperar a través de la incineración en un

<sup>227</sup> **WASTE IDEALES** (s.f.) *Reciclar y recuperar la madera Una segunda oportunidad para un recurso natural imprescindible* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://waste.ideal.es/residuosmadera.htm>

<sup>228</sup> **QUIMINET.COM** (2006) *Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS): Descripción, propiedades y aplicaciones*, Extraído el 09 de noviembre de 2011 de: <http://www.quiminet.com/articulos/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs-descripcion-propiedades-y-aplicaciones-4433.htm>

<sup>229</sup> **BASF PLASTICS** (2004) *Terluran BX-11000 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, extraído del sitio Polimat S.A. de C.V. el 09 de noviembre de 2011 de: [http://www.polymat.com.mx/polymat/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=shop.flypage&product\\_id=43&category\\_id=15&manufacturer\\_id=0&option=com\\_virtuemart&Itemid=44&vmcchk=1](http://www.polymat.com.mx/polymat/index.php?page=shop.product_details&flypage=shop.flypage&product_id=43&category_id=15&manufacturer_id=0&option=com_virtuemart&Itemid=44&vmcchk=1)

<sup>230</sup> **LUBRIZOL, FBC™ BUILDING SOLUTIONS** (2009) *Una nueva investigación demuestra cómo encajan las tuberías de plástico en los sistemas actuales con clasificación ecológica*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://espanol.lubrizol.com/BuildingSolutions/NewResearchShows.html>

centro de desperdicio-a-energía especialmente diseñado para este propósito, donde un proceso de combustión se utiliza para generar de forma segura vapor o electricidad<sup>231</sup>

### 3.3.- Reciclaje terciario del Poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido es un plástico que se utiliza como embalaje de protección o como aislante en la industria de la construcción. Si bien el EPS representa algunos retos para ser reciclado debido a que los aditivos introducidos durante el soplado pueden resultar difíciles de eliminar.

La empresa suiza Rastra AG utiliza el EPS reciclado y el hormigón en los paneles de construcción de hormigón aislante<sup>232</sup>

### 3.4. Reciclaje y Reutilización de Policloruro de Vinilo (PVC)

El PVC es el más ampliamente utilizado de todos los polímeros vinílicos. La utilización principal del PVC rígido es para tubos, accesorios y marcos de ventanas o puertas. Aunque también existen otras aplicaciones como el de la empresa Plastic PCcomponents inc. que fabrica perfiles vinílicos de PVC para sistemas de panel yeso y cemento y EIFS (sistemas exteriores de aislamiento en fachadas).<sup>233</sup>

El reciclaje del PVC no es tan extendido como el de otros polímeros, debido en parte a que la mayoría de sus aplicaciones son de larga vida útil. El PVC puede ser reciclado por trituración o bien por reciclaje químico para la recuperación del cloro (que puede luego ser utilizado en la producción de monómero)

El reciclado de PVC es sencillo y tecnológicamente viable. Gracias a su facilidad de transformación y a su termoplaticidad, el PVC se recicla a través de tres métodos:

A) Mecánico: es el sistema más utilizado. Los tipos de PVC que se reciclan son dos: el procedente del proceso industrial o scrap (anterior al consumo) y el procedente de los RSU (post-consumo).

B) Químico: actualmente en avanzada fase de desarrollo semi-industrial. Los residuos se someten a procesos químicos para transformarlos en productos más elementales.

C) Separación por disolución de la resina pura de PVC de sus compuestos: Método llamado Vinyloop.<sup>234</sup>

En Bélgica la empresa Solvay se ha desarrollado una nueva tecnología denominada Vinyloop, basada en la disolución selectiva del PVC lo que permite separar y recuperar el compuesto de PVC de los residuos plásticos que contienen una proporción significativa de otros polímeros. La primer planta comercial fue puesta en 2001 en farrara (Italia). En donde se reciclaron botellas de PVC para transformarlas en diferentes prendas de vestir a través de un programa desarrollado por Rhovyl, un fabricante de ropas francés y Elf Atochem. De esta manera se produjeron Jerseys, bufandas y calcetines a partir de un 30% de lana y un 70% de botellas de agua mineral.

Existen dos alternativas para su reciclaje:

- a) Reciclar todos los plásticos mezclados, tal y como se recogen, o bien
- b) Reciclarlos separadamente por familias.

Este sistema es más interesante desde el punto de vista medioambiental, ya que permite aprovechar mejor los recursos naturales (reduce el consumo de materias primas) y energéticos.

Para el reciclaje de residuos procedentes de los RSU es necesaria la implementación de sistemas de recolección selectiva de los materiales. Estos sistemas están implementados en 26 países de la Unión Europea.

El PVC recuperado y reciclado se emplea para la fabricación de innumerables productos: tuberías diversas, perfiles, mantas o láminas, hojas, artículos diversos inyectados, cuerpos huecos, escobas, recubrimiento de paredes, mangueras, calzado, artículos para la industria automotriz, fibras textiles,<sup>235</sup> u otros usos especiales como la creación de arrecifes para hábitats para los peces.<sup>236</sup>

<sup>231</sup> LUBRIZOL, FBC™ BUILDING SOLUTIONS (2009) *Op cit.*

<sup>232</sup> HANNEQUART, J.P. - ACRR (2004) *Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales.* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

<sup>233</sup> PLASTICOMPONENTS (2011) Extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [http://www.plasticomponents.com/about\\_the\\_company.asp](http://www.plasticomponents.com/about_the_company.asp)

<sup>234</sup> ASOCIACIÓN ARGENTINA DEL PVC (2005) *El PVC y el reciclaje*, Boletín técnico No. 17 Año 2005, extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf](http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf)

<sup>235</sup> ASOCIACIÓN ARGENTINA DEL PVC (2005) *El PVC y el reciclaje*, Boletín técnico No. 17 Año 2005, extraído el 05 de noviembre del 2011 de: [www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf](http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/76triptico-nº17.pdf)

### 6.1 Reciclaje secundario del Polietileno (PE)

El Polietileno (que puede ser de alta o baja densidad –HDPE o LDPE-) es un polímero termoplástico usado mayoritariamente en:

Bolsas de todo tipo, tuberías para riego, envases para pintura, aceites, tuberías para gas, telefonía, agua potable (poliducto naranja), minería, láminas de drenaje y uso sanitario; También se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, contra tanques, tanques de agua, plantas de tratamiento de aguas, lagos artificiales, canalones de lámina, etc..

El HDPE es reciclado por lo general por medio de la granulación, obteniéndose escamas. Los contaminantes son eliminados por lavado y las escamas son separadas de los otros plásticos por medio de técnicas de flotación.

En México la empresa GYAPOL S.A. de C.V. fabrica un producto llamado plastimadera hecha a base de polietileno reciclado.<sup>237</sup>

## **4. Reciclaje terciario de plásticos**

### 4.1.- Reciclaje secundario del Tereftalato de polietileno (PET)

Puede ser reciclado utilizando prácticamente todas las técnicas, desde el reciclaje mecánico al químico, así como por pirólisis para la obtención de carbón activo. Los adhesivos de las etiquetas pueden ser causa de decoloración, pérdida de transparencia y la humedad residual durante el reprocesado puede inducir el amarilleo y alterar las propiedades mecánicas del producto reciclado. Los mercados para la fibra de PET reciclado incluyen indumentaria, alfombras, textiles no tejidos y rellenos de fibra.<sup>238</sup>

En México la empresa Tecnología de reciclaje S.A. de C.V. genera fibra poliéster a base de PET reciclado, la cual es utilizada para la elaboración de varios productos tales como: Ropa, material aislante, zapatos, alfombras, cortinas, sleeping bags, edredones, almohadas, tapicería relleno para juguetes, mejorado de concretos, asfaltos, cuerdas, redes, brochas pinceles, fibras abrasivas y Geotextiles.<sup>239</sup>

## **E.- REAPROVECHAMIENTO DE MATERIALES COMPUESTOS FIBROSOS**

### 1.1.- Reciclaje de Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es una tela tejida de hilos o hebras de vidrio. La fibra de vidrio se obtiene gracias a la intervención de ciertos hilos de vidrio muy pequeños, que al entrelazarse van formando una malla, patrón o trama. Se utiliza para reforzar plásticos y otros materiales comúnmente conocidos como productos de fibra de vidrio.<sup>240</sup>

En el caso puntual de la fibra, su composición es la siguiente. La misma es el resultado de la unión de la malla de vidrio con una resina epoxi. Esta última es, a su vez, líquida en un comienzo, aunque luego pasa a solidificarse y a mantener la forma final o aquella que había sido adquirida previamente del molde utilizado. Sin embargo, para que esa resina se pueda solidificar en un periodo de tiempo fijo, hay que acelerar la reacción química. Esto se efectúa mediante el empleo de un catalizador, que puede resultar extremadamente tóxico, reactivo e incluso muy volátil. Por todos estos motivos es que se recomienda extremar los cuidados durante el uso del catalizador.<sup>241</sup>

Johnson Controls utiliza un proceso de reciclaje de material para los plásticos de fibra de vidrio. Sea cual sea el tipo de fibra que se recicle, los resultados son siempre los mismos: Menor volumen de desperdicios. Mayor reciclaje. Menor uso de energía. Mayor ahorro.<sup>242</sup>

### 2.1.- Asbesto

Las fibras de diámetro pequeño y las partículas pequeñas pueden permanecer suspendidas en el aire por largo tiempo y así ser transportadas largas distancias por el viento y el agua antes de depositarse. Las fibras de asbesto generalmente no son degradadas a otros compuestos y permanecerán virtualmente inalteradas por largo tiempo. Las fibras de asbesto pueden liberarse al aire al perturbar materiales que contienen asbesto durante el uso del producto, demoliciones, mantenimiento, reparación y renovación de edificios o viviendas.

<sup>236</sup> HANNEQUART, J.P. - ACRR (2004) Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

<sup>237</sup> GYAPOL. (2009) *Proceso ecológico*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.gysapol.com/Proceso-Ecologico>

<sup>238</sup> HANNEQUART, J.P. - ACRR (2004) Guía de buenas prácticas para el reciclaje de los residuos plásticos: Una guía por y para las autoridades locales y regionales. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf](http://www8.madrid.org/gema/fmm/reciclaje.pdf)

<sup>239</sup> TECNOLOGÍA DE RECICLAJE, (s.f.) *Tipos de Fibra*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.tder.com.mx/index\\_archivos/Page534.htm](http://www.tder.com.mx/index_archivos/Page534.htm)

<sup>240</sup> FIBERLAND (s.f.) *faq - preguntas frecuentes*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.fiberland.com.mx/faq.html>

<sup>241</sup> MAQUINARIA PRO, (s.f.) *El trabajo con fibra de vidrio*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.maquinariapro.com/materiales/fibra-de-vidrio.html>

<sup>242</sup> JOHNSON CONTROLS (s.f.) *Soluciones de reciclaje automotriz ya en producción*. Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.johnsoncontrols.es/publish/es/es/about/sustainability/plasticos\\_ecologicos.html](http://www.johnsoncontrols.es/publish/es/es/about/sustainability/plasticos_ecologicos.html)

El asbesto afecta principalmente a los pulmones y a la membrana que envuelve a los pulmones, la pleura. Respirar altos niveles de fibras de asbesto por largo tiempo puede producir lesiones que parecen cicatrices en el pulmón y en la pleura. Esta enfermedad se llama asbestosis y ocurre de manera común en trabajadores expuestos al asbesto, pero no en el público en general. Gente con asbestosis tiene dificultad para respirar, a menudo tiene tos, y en casos graves sufre dilatación del corazón. Es una enfermedad grave que eventualmente puede producir incapacidad y la muerte. Respirar niveles de asbesto más bajos puede producir alteraciones en la pleura, llamadas placas pleurales y pueden darse en gente que vive en áreas con altos niveles ambientales de asbesto. Los efectos de las placas pleurales sobre la respiración generalmente no son serios, pero la exposición a niveles más altos puede producir un engrosamiento de la pleura que puede restringir la respiración. El departamento de salud y servicios humanos de los estados unidos (DHHS), la organización mundial de la salud (OMS) y la agencia para la protección ambiental de los estados unidos (EPA) han determinado que el asbesto es carcinógeno para seres humanos.<sup>243</sup>

## **F.- REAPROVECHAMIENTO DE OTROS MATERIALES Y ORGÁNICOS**

### **1. Reutilización de otros materiales**

#### 1.1.-Reutilización del vidrio

El vidrio es un material que su proceso de industrialización y modulación (en la mayoría de los casos) le confiere una capacidad inherente de reutilización que dependerá en gran medida de las características del componente del que forme parte (Puerta, ventana, cubierta de mesa etc.). Es decir, su potencial de reutilización es dependiente de otros factores.

#### 1.2.-Barreras que impiden o dificultan la reutilización del vidrio

El hecho de que no existan mercados que comercialicen componentes de segunda mano limita en gran medida la reutilización de materiales como el vidrio. En otros países existen este tipo de organizaciones o compañías, lo que demuestra su factibilidad económica. Algunos ejemplos de estas organizaciones son: Wholes house building supply & Salvage, recycle Works, y second use en los E.U.

### **2. Reciclaje primario de otros materiales**

#### 2.1 Reciclaje primario del Vidrio

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero.

Las fábricas que practican el reciclaje compran a mejor precio el vidrio de un solo color, aunque actualmente está siendo fabricado, con vidrio de colores, un asfalto empleado en el revestimiento de carreteras. Este material, además de durable, confiere a la carretera un aspecto atractivo.<sup>244</sup>

### **3. Reciclaje secundario de otros materiales**

#### 3.1.- Reciclaje secundario de Tablaroca<sup>245</sup>

La tablaroca, que está compuesta de yeso, es bastante problemática en un vertedero. Cuando se moja en un entorno que adolece de oxígeno y contiene materia orgánica, como en un vertedero, algunos de los sulfato del yeso se disuelven en el agua. Si esto llega a las aguas subterráneas, puede dar lugar a la contaminación por sulfato.

Agri Marketing, Inc, con sede en Reinholds, PA es una empresa que recicla los escombros de tablaroca de casas prefabricadas y de las industrias de construcción y comercializa el yeso bajo la etiqueta USA Gypsum para empresas agroalimentarias, industriales y de uso doméstico.

El proceso comienza con la separación de los escombros de la tablaroca en la planta de fabricación o en el sitio de trabajo. USA Gypsum coloca contenedores dedicados en las obras de construcción o limpia el lugar de trabajo después de que el trabajo de los contratistas de tablaroca se ha completado.

La tablaroca es molida, tamizada, y se vende como un mejorador del suelo utilizado para sustituir productos de yeso faltantes. El papel que se desprende se vende como lecho para animales.

<sup>243</sup> **FORO CIUDADES PARA LA VIDA** (Mayo 2004), *Inventario de elementos tóxicos peligrosos y contaminantes en materiales de construcción*, Documentos de trabajo. Perú: Ciudades para la vida y AVINA.

<sup>244</sup> **RECICLAJE, BIODEGRADABLE.COM.MX** (s.f.) *Reciclado de vidrio en el hogar*, Extraído el 10 de febrero del 2011 de: [http://www.biodegradable.com.mx/reciclado\\_vidrio\\_hogares.html](http://www.biodegradable.com.mx/reciclado_vidrio_hogares.html)

<sup>245</sup> **USA GYPSUM** (s.f.) *La importancia del Reciclaje de Tablaroca* Extraído el 10 de febrero del 2011 de: <http://www.usagyypsum.com/recyclingimportance-es.aspx>

Cuenta con dos plantas ubicadas en Pennsylvania y sirve el noreste de Estados Unidos. Agri-Marketing ofrece una alternativa barata a los vertederos de residuos de paredes de yeso. Esta alternativa es a la vez ambientalmente consciente y una opción económicamente racional para la gestión de residuos de paredes de yeso.

3.2.- Reciclaje de residuos de pintura

Los residuos de pintura acrílica o de aceite pueden ser reciclados tal y como ocurre en Nueva Zelanda, en donde existe una compañía que recicla estos sobrantes de pintura; lo que hacen es dividir en colores claros, medios y oscuros, y en acrílica y de aceite dicha pintura; una vez hecho esto, esta pintura se ofrece a un precio competitivo a fin de ser utilizada como la capa de imprimación (primer).<sup>246</sup>

ANEXO 18

**Compatibilidad de plásticos**

La

Tabla 29 presenta una matriz de compatibilidad de plásticos<sup>247</sup>. Las abreviaciones empleadas son las mismas que se muestran en la tabla de materiales y su posible gestión:

Tabla 29 Compatibilidad entre plásticos

COMPATIBILIDAD ENTRE PLÁSTICOS												
	PE	PVC	PS	PC	PP	PA	POM	SAN	ABS	PBTP	PETP	PMMA
PE	1	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4
PVC	4	1	4	4	4	4	4	1	2	4	4	1
PS	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PC	4	3	4	1	4	4	4	1	1	1	1	1
PP	3	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4
PA	4	4	3	4	4	1	4	4	4	3	3	4
POM	4	4	4	4	4	4	1	4	4	3	4	4
SAN	4	1	4	1	4	4	4	1	1	4	4	1
ABS	4	2	4	1	4	4	3	4	1	3	3	1
PBTP	4	4	4	1	4	3	4	4	3	1	4	4
PETP	4	4	3	1	4	3	4	4	3	4	1	4
PMMA	4	1	3	1	4	4	3	1	1	4	4	1

- 1 = Compatible
- 2 = Compatible con limitaciones
- 3 = Compatible solo en pequeñas cantidades
- 4 = No compatible

<sup>246</sup> MILLER G. & HARDIE M. citados en DROGEMULLER R et al (2009) *Technology, Design and Process Innovation in the Built Environment*, E.U.A.: Spon Press p. 108  
<sup>247</sup> VDI 2243, citado en ACTIVE DISASSEMBLY RESEARCH (2005) *Design for Disassembly Guidelines*. Recuperado el 05 de diciembre de 2011 de: <http://www.activedisassembly.com/index3.html>